

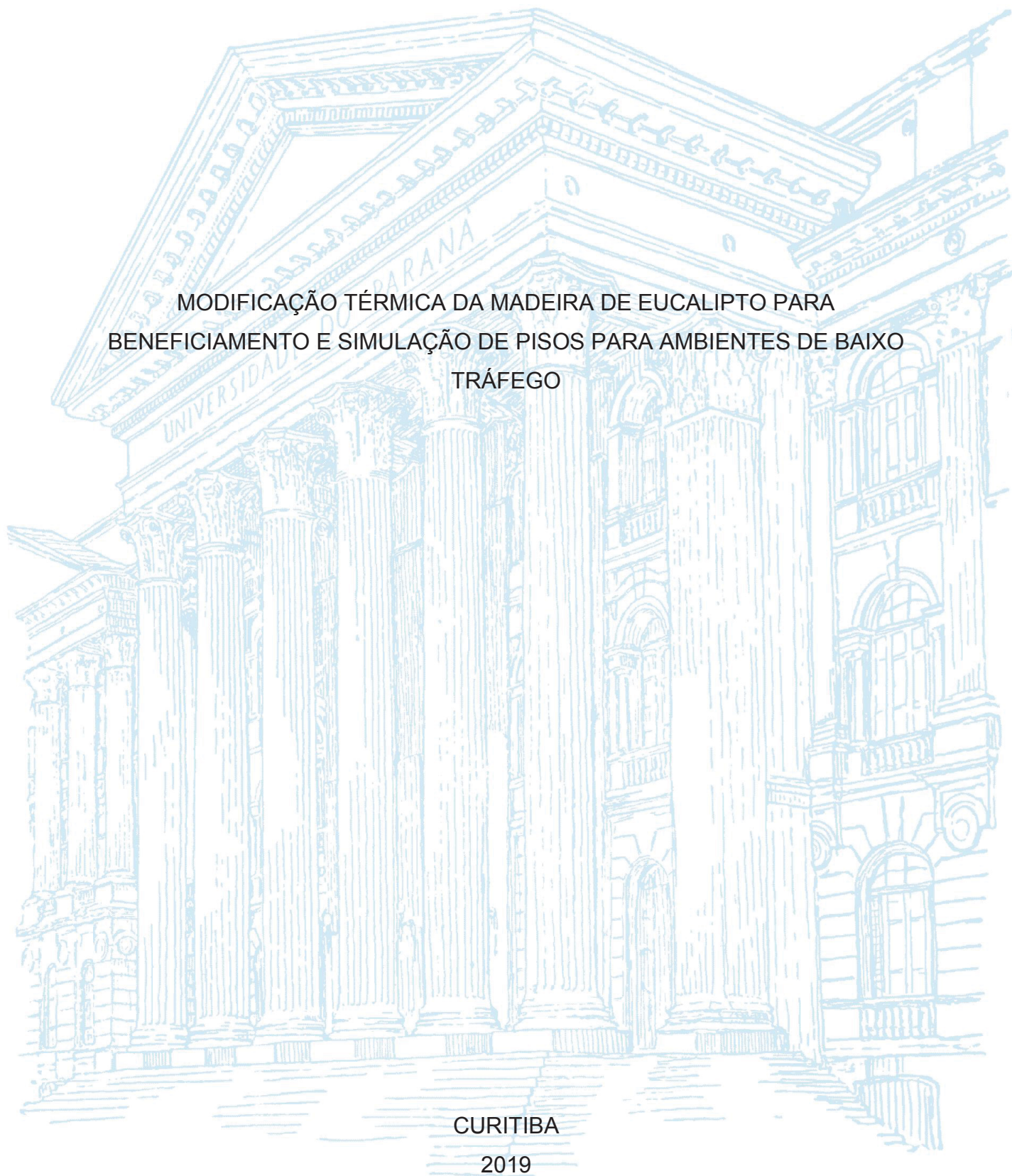
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLAUDIO GUMANE FRANCISCO JUIZO

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA
BENEFICIAMENTO E SIMULAÇÃO DE PISOS PARA AMBIENTES DE BAIXO
TRÁFEGO

CURITIBA

2019



CLAUDIO GUMANE FRANCISCO JUIZO

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA
BENEFICIAMENTO E SIMULAÇÃO DE PISOS PARA AMBIENTES DE BAIXO
TRÁFEGO

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de ciências Agrárias da, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientador: Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Juizo, Claudio Gumane Francisco

Modificação térmica da madeira de eucalipto para beneficiamento e
simulação de pisos para ambientes de baixo tráfego / Claudio Gumane
Francisco Juizo. – Curitiba, 2019.

111 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal. Defesa: Curitiba, 27/09/2019.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Propriedades. 2. Madeira - Propriedades térmicas. 3.
Eucalipto. 4. Pisos. 5. Teses. I. Rocha, Márcio Pereira da. II. Klitzke,
Ricardo Jorge. III. Silva, José Reinaldo Moreira da. IV. Universidade
Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.812



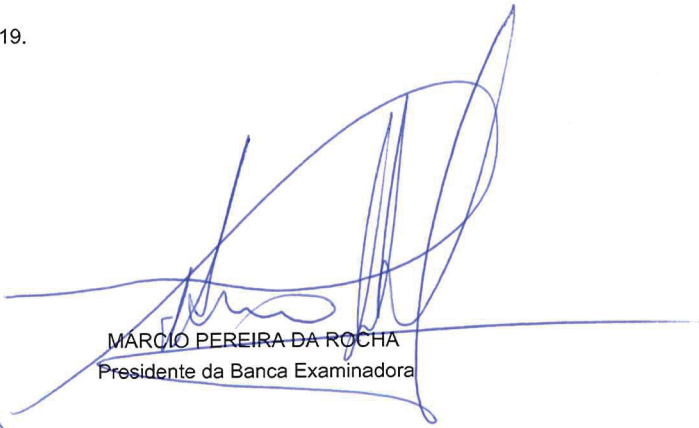
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **CLAUDIO GUMANE FRANCISCO JUIZO** intitulada: **Modificação térmica da madeira de eucalipto para beneficiamento e simulação de pisos para ambientes de baixo tráfego**, sob orientação do Prof. Dr. MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Setembro de 2019.



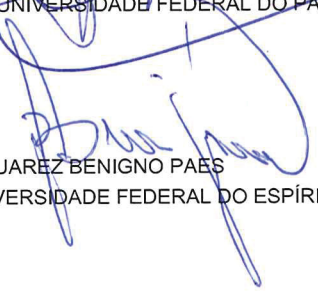
MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA
Presidente da Banca Examinadora



RICARDO JORGE KLITZKE
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE DAMBROZ
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA)



JUAREZ BENIGNO PAES
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO)



ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais Francisco Juizo *in memoriam* e Cecília Tacarindua

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O Deus todo Poderoso, pela saúde, vida e forças para enfrentar cada dificuldade durante a formação.

À Universidade Federal do Paraná pela confiança e oportunidade criada para continuar e tentar tornar este sonho em realidade;

Ao Instituto Superior Politécnico pelo apoio e oportunidade de seguir na carreira de pesquisador;

A Capes pelo apoio financeiro durante o Doutorado, a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, recebam o meu obrigado.

A Arborem por fornecer o Material, e a empresa e Triangulo Pisos pelo auxílio na realização de acabamento superficial na pessoa do Sr Marcelo Granemann e do Engenheiro Pablo Gabardo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha pelo apoio, amizade, ensinamentos e incentivos durante a realização deste trabalho;

Aos meus Coorientadores, Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke pelas sugestões e apoio para melhorar a pesquisa e ao Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva pelo interesse em colaborar e passar os seus ensinamentos no processo de usinagem;

Aos professores do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal (DETF) da UFPR pelos ensinamentos e apoio nos durante a minha formação na UFPR;

Aos professores Dr. Umberto Klock e Allan Sulato de Andrade do Laboratório de Química da Madeira, e aos Pós-Graduandos Eraldo Junior e Elaine Cristina pela ajuda e orientação na realização das análises químicas;

A professora Silvana Nisgoski do Laboratório de Anatomia da Madeira e a técnica e pós-graduanda Eliane Lopes da Silva pelo apoio nas análises realizadas;

Aos professores Jorge Luis Monteiro de Matos e Jose Guilherme Prata do Laboratório de Propriedades da Madeira e à técnica responsável Maurici Torres dos Santos pelo apoio na realização de ensaios mecânicos.

Ao Prof. Mikos da UTFPR pela cessão do Laboratório de metrologia, ao graduado Raul Bortolanza pelo apoio na coleta e análises de dados de usinagem.

Aos funcionários servidores e amigos da Marcenaria da UFPR: Mauro Távora e Ademir José Cavalli, pelo apoio na preparação das amostras para os ensaios de usinagem e piso.

Ao técnico responsável pelo laboratório de usinagem da UFLA Heber Macedo pelo apoio na produção de amostras para testes de usinagem.

Aos companheiros e amigos dos laboratórios de Secagem da madeira, Propriedades da madeira, anatomia, Biodeterioração e Painéis de madeira: Pedro Lício, Douglas Carvalho, Lineia Zen, Morgana França, Victor Cremonez, Ramiro Faria, Gisele Brochini, pela amizade e convívio.

A este grupo vai um agradecimento a Profa. Dra. Raquel Marchesan pelos aconselhamentos importantíssimos no começo desta longa jornada na UFPR.

Agradeço a minha família em especial a minha mãe e aos meus irmãos pela paciência, motivação, força e compreensão dos meus objetivos e desafios.

Aos meus Primos Aizeque Mapepa, Osvaldo Mapepa, Alice Mapepa, A minha segunda Mae Olga Tacarindua e amigos de Moçambique Arnaldo Uetela, Narciso Bila, Jaime Mangujo, Nocy Bila, Joelma Buchir e Luis Buchir pelo apoio.

Aos amigos Deonísio Tanda, Fabiele Bivanco, Josiane Lima, Theoma Othobo, Euclides Sacomboio, Maciel Batista, Eileen Acosta, João Batista que foram minha segunda família em Curitiba.

Um agradecimento com muito carinho a Patricia de Andrade pelo apoio e presença em momentos ao longo dessa caminhada.

Aos colegas do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, Ana Clara, Carol Xavier e Mônica Bezerra, pelo apoio na coleta de dados.

EPÍGRAFE

*Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá.
A única e verdadeira segurança consiste numa reserva de sabedoria,
experiência e de competência.*

Henry Ford

RESUMO

A utilização da madeira de eucalipto para obtenção de produtos de maior valor agregado ainda é um desafio para a indústria, uma vez que necessita de melhorias e desenvolvimento de processos eficientes através de tratamentos que viabilizam estas madeiras, por serem de rápido crescimento, o que é uma vantagem apesar das dificuldades enfrentadas por quem as utiliza. Uma das alternativas é a modificação térmica já empregada com resultados satisfatórios em alguns países da Europa, EUA e recentemente no Brasil. Neste processo, a madeira é submetida a elevadas temperaturas com ou sem presença de gás, para alteração na proporção de componentes químicos, tais como moléculas de hemiceluloses e celulose, tornando-a com características hidrofóbicas, melhor resistência biológica e esteticamente com aparência mais escura semelhante a algumas espécies tropicais nativas, condições que podem melhorar consideravelmente o desempenho destes produtos no ambiente de uso. Assim sendo foi desenvolvido esta pesquisa para realizar a modificação térmica da madeira de quatro clones de eucalipto, com ciclo reduzido, focando a sua aplicação em usinagem e beneficiamento bem como na obtenção de produtos de maior valor agregado como é o caso de piso para serem utilizados em ambientes que requerem maiores exigências em termos de umidade e resistência biológica. O estudo está apresentado em quatro capítulos nos quais foram avaliadas as alterações anatômicas, físicas e químicas decorrentes do processo. E em seguida foram analisadas as alterações que ocorrem na madeira perante a realização de determinadas operações de usinagem. Posteriormente avaliou-se estas madeiras perante a simulação de piso em ambiente de uso, e finalmente foi analisado o desempenho destas madeiras mediante realização de acabamento superficial. Os resultados indicaram redução da taxa de absorção de água com redução massa específica após a modificação térmica devido a degradação das moléculas de hemiceluloses e celulose. Permitindo suavização da madeira de alguns clones para realização de aplainamento, furação e rasgo. E as depressões observadas em testes de piso após a modificação térmica indicaram limitações de uso para três clones de eucalipto. E foi possível observar que os tratamentos térmicos causaram melhorias estéticas na coloração e brilho das madeiras, sendo que a aderência por verniz ficou relativamente baixa pela fraca ligação entre os produtos de acabamento com os elementos químicos moleculares disponíveis.

Palavras chave: Propriedades da madeira, Usinagem da madeira, Ensaio de piso, Acabamento superficial, Produtos de maior valor agregado.

ABSTRACT

The use of eucalyptus wood to obtain higher value-added products is still a challenge for the industry, as it needs improvements and the development of efficient processes through treatments that enable these woods, because they are fast growing, which is an advantage despite the difficulties faced by those who use them. One of the alternatives is the thermal modification already employed with satisfactory results in some countries of Europe, USA and recently in Brazil. In this process, the wood is subjected to high temperatures with or without gas, to change the proportion of chemical components, such as hemicelluloses and cellulose molecules, making it with hydrophobic characteristics, better biological resistance and aesthetically with dark appearance similar, for some native tropical species, conditions that can considerably improve the performance of these products in the environment of use. Thus, this research was developed to perform the thermal modification of the wood of four eucalyptus clones, with reduced cycle, focusing its application in machining and processing as well as in obtaining products of higher value-added, such as the floor to be used in environments that require higher demands in terms of humidity and biological resistance. The Study is presented in four chapters in which the anatomical, physical and chemical changes resulting from the process were evaluated. Then were analyzed the changes that occur in the wood when certain machining operations are performed. Afterwards, these woods were evaluated against the simulation of floor in use environment, and finally the performance of these woods was analyzed by surface finishing by coating. The results indicated reduction of water absorption rate with specific mass reduction after thermal modification due to degradation of hemicelluloses and cellulose molecules. Allowing smoothing of wood from some clones for planning, drilling and tearing. And the depressions observed in floor tests after thermal modification indicated use limitations for three eucalyptus clones. And it was observed that the heat treatments caused aesthetic improvements in the color and brightness of the woods, and the adhesion by varnish was relatively low due to the poor connection between the finishing products and the available molecular chemical elements.

Keywords: Wood Properties, Wood machining, Floor Testing, Surface Finishing, Higher Value-Added Products.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. APLICAÇÕES DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE EM AMBIENTES EXTERNOS.....	27
FIGURA 2. MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO EM FORNO ELETRICO.....	30
FIGURA 3. PROGRAMA DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA UTILIZADO NO EXPERIMENTO.....	30
FIGURA 4. DIVISÃO DE CORPOS DE PROVA PARA ANÁLISE DA GRÃ DA MADEIRA DE EUCALIPTO.....	34
FIGURA 5. LITURA DE COR DAS MADEIRAS DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	36
FIGURA 6. SISTEMA DE COORDENADAS CIELAB PARA MUDANÇAS DE COR DA MADEIRA EM TRÊS COORDENADAS.....	36
FIGURA 7. OPERAÇÃO DE APLAINAMENTO REALIZADA NAS MADEIRAS DE EUCALIPTO.....	52
FIGURA 8. OPERAÇÃO DE FURAÇÃO PARA DOBRADIÇA E PARA CAVILHA REALIZADAS NA MADEIRA DE EUCALIPTO.....	53
FIGURA 9. OPERAÇÃO DE RASGO REALIZADA NA MADEIRA IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	53
FIGURA 10. PERFIL DE RUGOSIDADE DAS MADEIRAS DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE APÓS O APLAINAMENTO.....	55
FIGURA 11. PERFIL DE ONDULAÇÕES EM 3D NAS BORDAS DOS FUROS FEITOS COM BROCA DE 10 MM NAS MADEIRAS <i>IN NATURA</i> E MODIFICADA DE EUCALIPTO.....	57
FIGURA 12. PERFIL DE ONDULAÇÕES NAS SUPERFÍCIES DAS MADEIRAS IN NATURA E MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE APÓS FURAÇÃO COM BROCAS FORSTNERS DE 25 MM.....	59
FIGURA 13. PERFIL DE ONDULAÇÕES NAS SUPERFÍCIES DAS MADEIRAS DA MADEIRA IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE APO O RASGO HORIZONTAL COM BROCAS 10 MM.....	61
FIGURA 14. ENSAIOS DE QUEDA DE ESFERA REALIZADOS NA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	66

FIGURA 15. ENSAIO DE CARGA ROLANTE (CARGA CONCENTRADA NA MADEIRA DE EUCALIPTO).....	67
FIGURA 16. ENSAIO DE ENDENTAÇÃO (CARGA DISTRIBUÍDA) REALIZADO NA MADEIRA DE EUCALIPTO.....	68
FIGURA 17. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	81
FIGURA 18. MEDIÇÃO DE BRILHO NA MADEIRA DE EUCALIPTO MODIFICADA TERMICAMENTE.....	82
FIGURA 19. ADERÊNCIA DE VERNIZ NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA SUBMETIDA AO ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	83
FIGURA 20. ABRASÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO SUBMETIDA AO ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	84
FIGURA 21. ENSAIO DE ATRITO DA MADEIRA DE EUCALIPTO SUBMETIDA AO ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLONES DE EUCALIPTO E AS RESPECTIVAS ESPÉCIES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO.....	29
TABELA 2. PROPRIEDADES ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	38
TABELA 3. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	39
TABELA 4. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	43
TABELA 5. PARAMETROS OLORIMETRICOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	46
TABELA 6. DUREZA JANKA E DEPRESSÕES POR IMPACTO DE ESFERA DE AÇO NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.....	70
TABELA 7. ÍNDICE DE ENDENTAÇÃO PARA AS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE DOS QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.....	73
TABELA 8. DEPRESSÕES POR CARGAS CONCENTRADA E DISTRIBUÍDA NAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.....	74
TABELA 9. CLASSES DE BRILHO E ADERÊNCIA DE VERNIZ DAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADAS TERMICAMENTE DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.....	86
TABELA 10. ABRASÃO DO VERNIZ APLICADO NA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.....	89
TABELA 11. ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO DAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.....	91

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo geral	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. A MADEIRA DE EUCALIPTO NO BRASIL	4
2.2. TRATAMENTOS PARA QUALIDADE NO PROCESSAMENTO DA MADEIRA	5
2.3. MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO	6
2.4. ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE	7
2.4.1. Propriedades químicas	8
2.4.2. Propriedades físicas	12
2.4.3. Propriedades anatômicas	15
2.5. USINAGEM DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE	17
2.5.1. Rugosidade	18
2.5.2. Furação e rasgo horizontal da madeira	19
2.6. QUALIDADE DE PISOS DE MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE	20
2.6.1. Abrasão e dureza superficial	21
2.6.2. Endentação por cargas distribuída e concentrada	22
2.7. ACABAMENTO DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE	24
2.7.1. Aderência de verniz e brilho no acabamento superficial	24
2.7.2. Atrito estático e dinâmico	25
2.8. UTILIZAÇÃO DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE	26
3. ESTRUTURA DA TESE	28
4. METODOLOGIA GERAL	29
4.1. AMOSTRAGEM E ESPÉCIES UTILIZADAS	29
4.2. SECAGEM E MODIFICAÇÃO TÉRMICA	29

CAPITULO I. EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO..... 31

1. INTRODUÇÃO	31
1.1. OBJETIVOS	32
1.1.1. Objetivo geral.....	32
1.1.2. Objetivos específicos.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1. PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	33
2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	34
2.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	34
2.4. PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS.....	35
2.5. ANÁLISE DE DADOS	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1. PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA.....	38
3.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	39
3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	43
3.4. PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA	46
4. CONCLUSÕES.....	49

CAPITULO 2. MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO E QUALIDADE DE SUPERFÍCIE USINADA PELO MÉTODO DE PERFIL 50

1. INTRODUÇÃO	50
1.1. OBJETIVOS	51
1.1.1. Objetivo geral.....	51
1.1.2. Objetivos específicos.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	52
2.1. REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE USINAGEM.....	52
2.2. Análise de dados.....	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.1. APLAINAMENTO	55
3.2. FURAÇÕES PARA DOBRADIÇA	57
3.3. FURAÇÃO PARA CAVILHA.....	59
3.4. RASGO HORIZONTAL	61
4. CONCLUSÕES	63

CAPITULO 3. MODIFICAÇÃO TÉRMICA E SIMULAÇÃO DE PISO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA AMBIENTES DE BAIXO TRÁFEGO.....	64
1. INTRODUÇÃO	64
1.1. OBJETIVOS	65
1.1.1. Objetivo geral.....	65
1.1.2. Objetivos específicos.....	65
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1. ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL.....	66
2.2. IMPACTO POR ESFERA DE AÇO	66
2.3. ENSAIO DE CARGA CONCENTRADA	67
2.4. ENSAIO DE CARGA DISTRIBUÍDA	68
2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
3.1. DUREZA E IMPACTO DE ESFERA DE AÇO	70
3.2. ÍNDICE DE ENDENTAÇÃO	72
3.3. DEPRESSÕES POR CARGA CONCENTRADA E DISTRIBUÍDA	74
4. CONCLUSÕES	78
CAPITULO 4. MODIFICAÇÃO TÉRMICA E ACABAMENTO SUPERFICIAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO.....	79
1. INTRODUÇÃO	79
1.1. OBJETIVOS	80
1.1.1. Objetivo geral.....	80
1.1.2. Objetivos específicos.....	80
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	81
2.1. ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	81
2.2. CLASSIFICAÇÃO DO BRILHO DA MADEIRA.....	82
2.3. ADERÊNCIA	82
2.4. ABRASÃO.....	83
2.5. ENSAIO DE ATRITO.....	84
2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
3.1. BRILHO E ADERÊNCIA DE VERNIZ.....	86
3.2. ABRASIVIDADE DO VERNIZ	88
3.3. ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO	91

4. CONCLUSÕES	93
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6. RECOMENDAÇÕES	95
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A evolução da consciência ambiental, tem intensificado o uso de espécies madeiras provenientes de florestas plantadas na indústria moveleira e construção civil leve interna, sobretudo as espécies de eucalipto, pelo rápido crescimento e características tecnológicas, em substituição de espécies nativas que estão cada vez mais em escassez.

Ainda em relação as madeiras de eucalipto, vale destacar também a sua versatilidade, com histórico de utilização satisfatória em usinagem e beneficiamento, na obtenção de vigas e laminados de uso interno e externo e aplicando produtos seladores na superfície para aumentar a vida útil destas madeiras em ambiente de uso.

São inúmeras funcionalidades destas espécies, as quais se agregam características peculiares que as tornam preferidas em vários seguimentos industriais, porém, as mesmas requerem cuidados que vão desde os tratamentos silviculturais até o beneficiamento, necessitando de conhecimentos específicos sobre as mesmas, principalmente quando se pretende obter produtos de maior valor agregado, sem que haja prejuízos para a indústria.

Aliado a isso, Trianoski (2010) afirmou que o conhecimento de um conjunto de características são importantes, para adequação da madeira a um determinado uso ou conjunto de usos, e contribuir para a obtenção de produtos de maior valor agregado com qualidade, e proporcionar o aprimoramento e o emprego de novas tecnologias de transformação com o uso racional das madeiras.

Este fato corrobora com a afirmação de Remade (2001), segundo qual, a utilização correta da madeira como matéria-prima, somente seria efetivada através do perfeito conhecimento de suas propriedades físico-químicas e organização dos diferentes tecidos celulares que constituem o xilema secundário. Para com isso, viabilizar melhor a utilização e combinação destes produtos com alguns materiais que são transferidos diretamente para a madeira como ocorre nos setores de acabamento industrial.

Entre várias tecnologias que podem ser aprimoradas e empregadas para correta utilização da madeira de eucalipto, pode se destacar a modificação térmica, um processo bastante estudado e sobejamente conhecido pela pesquisa florestal madeireira, com reportagens do seu emprego com sucesso em algumas regiões do Brasil, principalmente no Sul e Sudeste.

Para a realização desse processo, Rapp; Sailer (2001); Kamdem; Pizzi (2002), Kocaefe et al. (2008) afirmaram que a madeira é exposta a altas temperaturas, entre 100 a 280°C em função do tempo, para causar alterações na composição química, a através da degradação das moléculas de celulose e hemiceluloses, o que resulta na perda de massa e redução da acessibilidade dos grupos hidroxílicos responsáveis pela higroscopicidade da madeira.

Pelo conjunto de alterações pode ser controlado, por meio da combinação de temperaturas e tempos de exposição menores para ganhar com a obtenção de peças de boa estabilidade dimensional, ao mesmo tempo em que se obtém peças com qualidade de resistência considerável, pela baixa perda de massa.

Alem disso, a exposição da madeira a estes processos, pode propiciar a sua adequada utilização no beneficiamento, e permitir a realização de operações que proporcionam menor desgaste das ferramentas com o menor esforço do operador pela condição e característica branda que esta adquire após o processo.

Com as novas características adquiridas a madeira fica mais fácil de ser trabalhada e podendo neste caso se obter superfícies de boa qualidade para acabamentos na obtenção de móveis de jardins, pergolados, pisos e decks de madeira. Produtos estes, cuja resistência nem sempre é um fator limitante para sua utilização.

Além da possibilidade de melhorar a qualidade de superfície em operações de usinagem, Brito et al. (2006); Modes et al. (2017) relatam o melhorias na resistência biológica da madeira, pois há redução da suscetibilidade de ataque por organismos xilófagos, causado pela degradação das moléculas de celulose e hemiceluloses, para aumentar a vida útil dos em serviço.

Essa situação é uma vantagem econômica e ambiental, pois permite redução considerável dos custos com produtos químicos. Foi pensando em

todas estas variáveis que se desenvolveu esta pesquisa para avaliar o efeito da modificação térmica na qualidade da madeira de eucalipto para a viabilizar a sua utilização.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Utilização da madeira de eucalipto modificada termicamente na usinagem para beneficiamento, e obtenção de pisos para uso em ambientes de baixo tráfego.

1.2.2. Objetivos específicos

Verificar o efeito da modificação térmica nas propriedades anatômicas macroscópicas, físico-químicas e colorimétricas da madeira.

Analisar a qualidade das superfícies das madeiras modificadas termicamente submetida à usinagem para beneficiamento.

Simular a em utilização de pisos de madeira modificada termicamente para ambientes de baixo tráfego.

Analisar a qualidade da madeira modificada termicamente em testes de acabamento superficial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A MADEIRA DE EUCALIPTO NO BRASIL

As madeiras das espécies do gênero *Eucalyptus* têm versatilidade para obtenção de diversos tipos de produtos da indústria de base florestal, e uma cadeia produtiva que segundo a IBA (2017), contribui com 1,15% do PIB brasileiro.

A utilização e comercialização desses produtos no Brasil é uma realidade, como se pode constatar pelo aumento do volume de produção e consumo industrial, situação que foi comprovada em pesquisas realizadas por Silva et al. (1997); Rocha; Trugilho (2006); Gomide et al. (2010) e Juizo et al. (2017) ao testarem a utilização destas espécies para obtenção de madeira serrada, polpa e carvão vegetal respectivamente.

Apesar do Brasil ter uma silvicultura favorável para o cultivo destas espécies, ainda tem se procurado melhorar as tecnologias para utilização sua utilização e um dos maiores desafios na atualidade centra-se na busca de soluções que visam reduzir o ciclo de derrubada dessas madeiras, que segundo Mello et al. (1976) podem variar de sete a nove anos, com rendimentos satisfatórios para as necessidades atuais da indústria.

Nesse aspecto, tem se verificado ações de clonagem e melhoramento genético, para seleção e recombinação de indivíduos superiores, com intuito de aumentar a frequência de alelos favoráveis, para obtenção de características e qualidades desejáveis (SOUZA JÚNIOR, 1993).

E o uso desses clones tem sido viável para melhoria das características tecnológicas, e redução de custos de produção. Pois, segundo Ferreira et al. (2014); Moraes (2017), a utilização de clones ciclo reduzido, representa uma economia de 30% no tempo de crescimento e derrubada para o fornecimento da matéria prima à indústria.

Segundo a IBA (2017), os setores de celulose e papel e siderurgia a carvão vegetal são os que mais utilizam o volume plantado, pois a indústria de produtos de madeira sólida é relativamente recente, com pouco mais de 20 anos, pelo que necessita de aprimorar ainda, várias técnicas e equipamentos adequados para sua utilização eficiente do eucalipto na maioria delas.

Para Batista et al. (2013), a falta de equipamentos adequados para utilização do eucalipto na indústria de transformação de madeira sólida, causa ineficiência e situação antieconômica pela elevada geração de subprodutos. Assim sendo, a limitação deste setor torna-se maior em virtude da ineficiência no processamento adequado destes produtos, que pelas suas características intrínsecas do gênero, liberam tensões de crescimento que contribuem para o baixo aproveitamento no processamento.

A exemplo disso, Ferreira et al. (2014) relatam surgimento de defeitos no processamento (empenamentos e rachaduras), como sendo o resultado das tensões de crescimento. E que algumas indústrias adotam técnicas para seleção e classificação de indivíduos em função das suas características, e a realização de tratamentos para alterar, homogeneizar e controlar a ocorrência de defeitos que se manifestam durante a utilização do produto acabado.

2.2. TRATAMENTOS PARA QUALIDADE NO PROCESSAMENTO DA MADEIRA

Os tratamentos para melhorar as qualidades da madeira são realizados em função do objetivo final. Segundo Dias; Simonelli (2013), a indústria de celulose e papel dá preferência a madeiras de média densidade, para obtenção de maiores rendimentos na polpação.

No caso da indústria de madeira sólida, o controle de rachaduras, empenamentos e anisotropia dimensional têm recebido maior destaque. E em alguns casos tem se optado por intensificar atividades silviculturais como foi reportado por Cademartori et al. (2015a) para o uso de herbicida na morte lenta e redução de rachaduras na madeira, como forma de contornar tais problemas, noutros casos opta-se por técnicas mais mecanizadas, conforme pesquisas de Marchesan et al. (2015) que relataram redução de rachaduras em peças obtidas de toras aneladas nos topos, e peças retiradas de árvores nas quais foram realizadas inserção de sabre do motosserra antes da derrubada. E, Pedro et al. (2014); Cunha et al. (2015) ao aplicarem diferentes métodos de desdobros de eucalipto, reportaram melhorias de rendimentos no desdobro tangencial e na qualidade da madeira no desdobro radial respectivamente.

Para o controle da anisotropia dimensional, algumas técnicas mais complexas são adotadas, pois envolvem a alteração dos constituintes e composição química e estrutural que segundo Kollmann; Côté Junior (1968) são na sua maioria polares e ligam facilmente com água presente na atmosfera na forma de vapor.

Neste contexto, algumas técnicas como o congelamento de madeiras, vaporização e aplicação de calor podem ser alternativas viáveis, e esta última já é utilizada em escala comercial na Europa, Canadá, Estados Unidos, e parte das Regiões Sul e Sudeste do Brasil.

A aplicação de calor, (*tratamento térmico, modificação térmica ou termorreificação da madeira*) é segundo Korkut et al. (2008); Zanuncio et al. (2014); Modes et al. (2017) viável para reduzir a higroscopicidade da madeira, melhorar a estabilidade dimensional, resistência biológica, qualidade da superfície em usinagens e homogeneidade de cor, deixando a madeira esteticamente parecida com as espécies de maior valor comercial, sem no entanto comprometer a resistência e qualidade do produto no ambiente de uso.

2.3. MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

As interpretações dos fenômenos que ocorrem na Modificação térmica variam de acordo com as condições utilizadas para exposição da madeira sendo o Plato®wood, o Oil Heat Treatment (OHT) realizado na Alemanha. o Thermowood® na Finlândia, o Per dure no Canadá, e o processo Retification® na França todos com os mesmos objetivos no que diz respeito às características desejadas para a madeira.

Apesar de algumas variações existentes entre os diferentes processos mencionados, Rousset et al. (2004), afirmam que existem semelhanças entre os mesmos uma vez que utilizam temperatura, segundo Kamdem; Pizzi (2002) varia de 150 a 280 °C com exposição de 15 minutos a 24 horas.

No Brasil há registros de uso da madeira modificada termicamente em escala comercial, no entanto, essa técnica ainda é pouco desenvolvida, e as maiores reportagens são de pesquisas realizadas ao nível laboratorial, utilizando fornos, estufas, autoclaves e prensas hidráulicas.

Assim sendo, pode-se destacar os primeiros estudos realizados por Vital et al. (1983), ao utilizar temperaturas de 100 a 155 °C; Brito (1993), utilizou variações de temperaturas de 180 a 220 °C; e Pincelli et al. (2002), que reportaram o emprego de temperaturas de 120 a 180 °C, para dar seguimento às pesquisas, e todos com resultados que seriam promissores para madeira de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.

Os resultados dessas pesquisas foram importantes para trabalhos de Borges; Quirino (2004) na madeira de *Pinus caribaea* em autoclave. E Brito et al. (2006) e Pessoa et al. (2006), que ao utilizarem estufa elétrica laboratorial para modificação térmica, registraram grandes avanços na madeira de *Eucalyptus grandis*. Mais tarde Gouveia (2008) avaliou a realização destes processos em madeiras de espécies da Amazônia em estufa de circulação forçada.

Estas pesquisas culminaram com a criação de uma patente por Severo e Calonego (2011) no Brasil para a realização do processo. E posteriormente Batista et al. (2011) e Sorato (2012), utilizaram processos patenteados na Alemanha (VAP HolzSysteme®) para início de análise comparativa com os demais processos empregues para madeira de *Eucalyptus* sp.

Esses estudos causaram uma considerável evolução nesta linha de pesquisa, e nos últimos anos, a modificação térmica da madeira no Brasil está centrada nas melhorias de processos, em função do uso final e agregação de valor ao produto, uma vez que, os mesmos podem causar alterações estruturais significativas em alguns casos, capazes de comprometer a utilização da madeira em situações que requerem maiores esforços mecânicos.

2.4. ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE

Foi mencionado que a modificação térmica visa a redução da higroscopicidade, melhorias da estabilidade dimensional e resistência biológica da madeira. Porém, os níveis de alterações causadas na ultraestrutura da parede celular não devem ser intensas, e estas dependem da temperatura e tempos de exposição utilizados, de acordo com as características das espécies, sem comprometer as propriedades de resistência e rigidez

promovidas pela degradação dos constituintes químicos de alto peso molecular (HILL, 2006; WINDEISEN et al., 2007).

2.4.1. Propriedades químicas

A composição química da madeira também é decisiva no processo, pois Segundo Fengel; Wegener (1983), as diferenças na proporção de extrativos e minerais, celulose, hemiceluloses e lignina resultam nas diferenças comportamentais destas. Assim sendo Tjeerdsma; Militz, (2005) afirmam que durante a modificação térmica, as alterações na estrutura madeira são causadas pelas reações autocatalíticas dos constituintes químicos da parede celular, verificando-se a degradação de celulose, hemiceluloses com cristalização da lignina, com volatilização dos extrativos que são os últimos componentes mais estáveis a elevadas temperaturas.

a) *Hemiceluloses*

As hemiceluloses são moléculas formadas por uma ramificação de unidades de glicose e manose, o que as torna mais fáceis de acessar devido à presença de numerosos grupos hidroxilas livres. Elas ocorrem nas madeiras, ligadas com moléculas de celulose e lignina, sendo isoladas por extração e deslignificação em água, soluções alcalinas e aplicação de calor (FENGEL; WEGENER, 1983; KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR 1968).

Segundo Hakkou et al. (2005), no processo de modificação térmica da madeira, a degradação das hemiceluloses inicia formando ácido carbônico, em resultado da quebra dos grupos acetil. E as monômeras unidades de açúcar formadas, são desidratadas dando origem aos aldeídos.

Em estudos avaliando a química da madeira, Candelier et al. (2013) observaram redução no teor de hemiceluloses durante a modificação térmica da madeira de *Fagus sylvatica* em atmosfera com nitrogênio e vácuo, pela remoção progressiva dos ácidos acéticos e fulfurílicos. No entanto, Yildiz et al. (2006) ao avaliarem a modificação térmica sob diferentes temperaturas em estufa, somente observaram redução do teor de hemiceluloses a partir de temperaturas de 200°C.

Situação similar foi obtida por Özgenç et al. (2017) na modificação térmica da madeira de *Picea orientalis*. Para os autores, a fragmentação e dispersão dos grupos acetílicos da hidrólise do ácido acético, ocorrem principalmente na primeira etapa do processo de modificação térmica, sendo responsáveis pela redução das moléculas de hemiceluloses.

Pesquisas realizadas por Akgul; Korkut (2012) para diferentes temperaturas em madeiras de *Pinus sylvestris* e *Abies nordmanniana*, também verificaram redução do teor de hemiceluloses com aumento da temperatura em diferentes períodos e atmosferas de modificação térmica.

b) Celulose

A celulose é constituída por moléculas cristalinas formadas por unidades de glicose. É a principal estrutura nas células da madeira, formando microfibrilas entrelaçadas em arranjo paralelo ou inclinadas, sempre em associação com hemiceluloses e lignina. As concentrações de moléculas de celulose variam de acordo com a origem da espécie florestal e a sua decomposição requer intensivos tratamentos químicos e térmicos (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; FENGEL; WEGENER, 1983).

Segundo Kim et al. (2010), as moléculas de celulose são responsáveis pela formação de compostos voláteis durante a modificação térmica. Fengel; Wegener (1983); Kim et al. (2010) salientam que a degradação completa da celulose ocorre apenas a partir de 300°C. Assim sendo, a partir de 100°C começa a redução do grau de polimerização dessa molécula, formando radical livres e grupos carbonil, carboxil e hidroperóxidos.

Ainda segundo Fengel; Wegener (1983); Kim et al. (2010) as temperaturas acima de 120°C aumentam a cisão das ligações glicosídicas e a celulose se desidrata em levoglucosanas e oligossacarídeos, pela presença de ácidos formados na degradação de hemiceluloses, e que atuam na reação como catalisadores do processo.

Yun et al. (2006) observaram as diferentes mudanças na cristalinidade e teor de celulose na modificação térmica da madeira de *Eucalyptus urophylla x camaldulensis*, relatando ligeiro aumento no seu porcentual à temperatura de 160°C. situação que foi justificada pela aproximação das microfibrilas das

regiões amorfas às regiões cristalinas. No entanto, após o aumento da temperatura para 180°C houve decréscimo percentual de celulose e plastificação da lignina.

Yang et al. (2010) ao avaliarem o comportamento de *Pinus* sp., observaram que a cristalinidade e teor de celulose na madeira voltariam a aumentar à temperatura de 200°C, pela divisão da xilana ácida e glucomanas, as quais polimerizam e cristalizam sob elevação da temperatura, situação semelhante às observações de Yildiz et al. (2006) para madeira de *Fagus orientalis*, em diferentes patamares de modificação térmica.

c) Lignina

Segundo Kollmann; Côté Junior (1968); Fengel; Wegener (1983), as moléculas de lignina são substâncias amorfas, incrustadas na madeira, e formadas por polímero tridimensional, de unidades de fenilpropano, formando o complexo mais estável e responsável pelo aumento da resistência mecânica da madeira e da hidrofobicidade da madeira.

Durante a modificação térmica, estas moléculas dificilmente se desintegram, pois os complexos formados somente reagem em pequenas proporções e a temperaturas elevadas. Assim sendo, a desintegração das pequenas proporções de lignina ocorre pela formação de numerosos grupos de fenol concentrado, que se dispersam nas diversas reações de condensação que ocorrem com os grupos aldeídos formados na degradação das hemiceluloses (FENGEL; WEGENER, 1983; BOONSTRA; TJEERSDSMA, 2006).

Em estudos avaliando os efeitos da modificação térmica, Kotilainen (2000) observou aumento na proporção da lignina, com aumento da temperatura e tempo de exposição da madeira de 150 para 260 °C. Situação semelhante foi observada por Akgul; Korkut (2012) a temperaturas de 120-180 °C por períodos de 2, 6 e 10 horas de exposição.

O aumento proporcional do teor de lignina foi também observado por Yildiz et al. (2006), com temperaturas a partir de 180°C. Kotilainen (2000) reportou essa tendência como sendo normal, pois o aumento da temperatura durante a modificação térmica resulta na redução dos carboidratos, pela

degradação das moléculas de celulose e hemiceluloses, aumentando a disponibilidade de lignina que fica mais acessível a qual se juntam novas substâncias formadas na degradação de celulosas e hemiceluloses.

d) Extrativos

Em adição aos componentes de alto peso molecular (celulose, hemiceluloses e lignina) a madeira contém uma quantidade de componentes de baixo peso molecular (terpenos, gorduras, resinas, componentes fenólicos, taninos, quinonas, açúcares e constituintes inorgânicos), cuja presença é responsável pelo odor, coloração e resistência biológica (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; FENGEL; WEGENER, 1983).

Segundo Nuopponen et al. (2006); Dubey et al. (2012), com aplicação de calor na madeira, esses componentes migram para a superfície, podendo ser volatilizados a partir de 100°C. Acima de 160°C, o começo da despolimerização das moléculas das hemiceluloses e lignina, resultam na formação de novas substâncias, que migram para superfície e são responsáveis pela coloração escura da madeira modificada termicamente.

Apesar da volatilização dos extrativos durante aplicação de calor, a modificação térmica gera novas substâncias extraíveis, em resultado da decomposição das moléculas de celulose e lignina, a elevadas temperaturas (MBURU et al., 2008). Essa situação gera aumento no teor dessas substâncias conforme foi observado por Cabalova et al. (2018), após a modificação térmica da madeira de *Quercus robur* de 120 anos de idade por 160, 180, 200 °C em estufa.

Por outro lado, Silva et al. (2015) observaram redução no teor de extrativos da madeira de *Corymbia citriodora* modificada termicamente a 200°C, acima dessas temperaturas, há aumento dessas substâncias semelhante ao que foi reportado por Mburu et al. (2008). Os autores atribuem esses resultados às hidrólises dos componentes de alto peso molecular como sendo a causa da formação de novos compostos, incluindo ácido acético, formaldeídos e monossacarídeos.

Ainda para Fengel; Wegener (1983), Mburu et al. (2008), a fração cristalina da madeira é dada pela presença de elevado teor de celulose que

regula a quantidade de material lenhoso por volume de madeira, assim sendo a alteração da cristalinidade dessas moléculas causadas pelos níveis de degradação durante o intemperismo por ação de calor, afeta diretamente as características físicas deste material.

2.4.2. Propriedades físicas

Em função da variação nas características da madeira, Scanavaca Junior; Garcia (2004), afirmaram que o maior conhecimento das propriedades físicas (massa específica, higroscopicidade, e estabilidade dimensional) é necessário para sua melhor aceitação no mercado, principalmente em produtos modificados, em resultado da alteração ultraestrutural que ocorre.

a) *Massa específica e perda de massa*

A massa específica é a quantidade de material lenhoso por unidade de volume. Esta é uma das propriedades mais estudadas pela sua importância, uma vez que a sua variação afeta a estabilidade dimensional e as propriedades de resistência da madeira (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

Segundo Poncsák et al. (2006), as variações de massa específica, além de serem influenciadas pelo tipo de processo realizado, são também o afetadas pelas características iniciais da madeira, e causam variações nos diferentes processos incluindo a modificação térmica.

Aliado a isso, pode se destacar também, Brito et al. (2006), ao avaliarem madeira de *Eucalyptus grandis* em estufa elétrica, verificaram que o tratamento térmico não influenciou na massa específica da madeira. Semelhante ao que foi verificado por Cademartori et al. (2015b) também em madeira de *Eucalyptus* sp., em estufa elétrica e autoclave. Já, Poubel et al. (2013) em processos semelhantes para madeira de *Pinus caribaea*, verificaram influência do tratamento térmico na redução da massa específica.

Em estudos com madeiras nativas, Schneid et al. (2014) verificaram influência dos tratamentos térmicos, na redução da massa específica da madeira de *Luehea divaricata* em estufa elétrica. Resultados que foram

semelhantes às observações de Korkut; Kocaefe (2009) para os mesmos processos em madeiras nativas do sudeste Europeu.

Estes resultados sustentaram a afirmação de Roffael; Schaller (1971), segundo os quais, as reações químicas no interior do material são complexas, ocorrendo reações endotérmicas e exotérmicas simultaneamente no tempo e no espaço. Assim sendo, os polímeros da madeira apresentam estabilidade térmica diferenciada em função da rede cristalina existente em cada espécie, influenciando na despolimerização e desidratação das mesmas, o que resulta na desproporcional redução da massa e volume da madeira durante o processo.

A perda de massa é inevitável, principalmente quando a modificação térmica da madeira ocorre em sistemas fechados como estufas elétricas (CADEMARTORI et al., 2015b). Pois, segundo Surini et al. (2012), nestes processos ocorre a perda de água na parede celular e volatilização de algumas substâncias a partir de temperaturas de 140, 160, 180 °C.

Assim sendo, Cademartori et al. (2015b) observaram perda de massa de *Eucalyptus* sp. durante a modificação térmica em sistema fechado e Oliveira et al. (2016) em estufa elétrica, também observaram perda de massa em tratamentos térmicos variando de 100 a 200°C, à semelhança do que foi observado por Poubel et al. (2013) na madeira de *Pinus cariabaea* em estufa.

Já Pertuzzatti et al. (2015) observaram variação negativa da perda de massa, em madeira de *Pinus elliottii* tratada a 180°C, evidenciando assim, influência da atmosfera de tratamento térmico na desproporcional perda de massa da madeira.

b) Higroscopicidade da madeira

A madeira recém cortada pode apresentar teor de umidade variável, dependendo da espécie, período de secagem, condição e período de armazenamento. No caso de madeira seca, à medida que a umidade relativa do ambiente aumenta, esta tende a absorver mais umidade, podendo alcançar de 25 a 30% em locais com 95% de umidade relativa, na tentativa de entrar em equilíbrio higroscópico com o ambiente (HENZ; CARDOSO, 2005).

A troca de umidade com o ambiente é uma característica que a madeira possui, o que a torna higroscópica e causa a maioria dos problemas observados por quem a utiliza (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968). Ainda segundo Modes (2010) os seus efeitos geram grande preocupação para a indústria, promovendo estudos na tentativa de reduzir ou mitiga-los, sem comprometer a estrutura e qualidade da mesma.

Assim sendo, Hakkou et al. (2005); Pereira dos Anjos (2014) reportam a realização da modificação térmica para reduzir a higroscopicidade da madeira pela remoção da camada hidrofílica responsável pela troca higroscópica. Ainda segundo Hakkou et al. (2005), as alterações na higroscopicidade da madeira ocorrem rapidamente quando se aplicam temperaturas entre 130°C a 160°C, indicando que, temperaturas acima de 180°C utilizadas em alguns processos, para alterar as propriedades hidrofílicas da madeira não são necessárias.

Pereira dos Anjos (2014) avaliaram os feitos da modificação térmica na redução de higroscopicidade de madeiras tropicais amazônicas, a partir do momento em que se aplicam temperaturas maiores a 140°C, e verificaram que a madeira passa por alterações pela perda de alguns componentes químicos, adquirindo coloração homogeneia e estabilidade dimensional características estas que são atraentes para as indústrias.

Para Korkut et al. (2008), a significância da temperatura na higroscopicidade da madeira se intensifica a partir dos 150°C, ocorrendo alterações permanentes e irreversíveis das propriedades da madeira, alterações que continuam de forma progressiva à medida que se aumenta a temperatura, a semelhança das reportagens de Figueroa; Moraes (2009).

c) Retratibilidade e Estabilidade dimensional

A retratibilidade da madeira está estritamente ligada à higroscopicidade, ou fenômeno de adsorção e dessorção da água pela madeira, no ambiente em que a mesma se encontra. Segundo Kollmann; Côté Junior (1968), estes fenômenos ocorrem abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) e são observados pela higroscopicidade das moléculas de

celulose e hemiceluloses. Estas últimas, são altamente higroscópicas, e influenciam mais nos fenômenos de sorção, e conseqüentemente em diversos processos tecnológicos, tais como secagem e industrialização da madeira.

Assim sendo, Hill (2006); Korkut et al. (2008), afirmam que os tratamentos térmicos, dependendo das condições de realização, promovem alterações nas propriedades físicas da madeira, especialmente na retratibilidade, umidade de equilíbrio e molhabilidade, causado pela degradação das moléculas de hemiceluloses e redução dos grupos OH⁻.

Para Hakkou et al. (2005), as principais mudanças na estabilidade dimensional da madeira ocorrem por aplicação de temperaturas entre 200 e 260 °C, conferindo alterações nas características macroscópicas e na estabilidade dimensional. Este argumento foi comprovando por Poubel et al. (2013) para tratamentos de 200 e 220 °C em estufa de circulação de ar para modificação térmica de *Pinus caribaea*.

Kocaefe et al. (2008) observaram diferenças na estabilidade dimensional da madeira a partir de 120°C, semelhante aos resultados obtidos por Pereira dos Anjos (2014) na modificação térmica de madeira de espécies amazônicas a 140°C.

Algumas espécies de madeira estão sujeitas a restrições quanto à sua utilização para uma finalidade específica, em decorrência dos fenômenos de sorção. Assim sendo, os tratamentos térmicos permitem o uso de madeiras consideradas problemáticas, do ponto de vista tecnológico, para diversos fins, ampliando seu potencial econômico (DEL MENEZZI; TOMASELLI, 2006).

2.4.3. Propriedades anatômicas

Foi mencionado que a celulose, hemiceluloses e lignina são os principais componentes moleculares estruturais da madeira. A isso, Boonstra et al. (2007); Batista et al. (2011), enfatizam que a diversidade, tipos celulares, distribuição e proporção no lenho também respondem em grande parte pela heterogeneidade da madeira, sobretudo nas folhosas, que têm uma estrutura complexa em decorrência da presença de fibrotraqueídeos em algumas espécies, traqueídeos libriformes, células do parênquima com diferentes amplitudes e variações.

Essa variação pode se tornar ainda mais impactante para a percepção dos fenômenos envolvidos na utilização da madeira, causado pelas alterações promovidas pela ação do calor, pois segundo Fengel; Wegener (1983), as degradações químicas que se precedem podem criar alteração nas fibras e células parenquimáticas, resultando em inúmeros espaços vazios e surgimento de fissuras nas paredes celulares.

Segundo Kollmann; Côté Junior (1968); Fengel; Wegener (1983) as fibras são os principais tecidos de suporte presentes na madeira de folhosas, dentro das quais, estão distribuídos os vasos de tamanhos variados que desempenham a função de condução de fluidos no sentido longitudinal. Assim sendo, a elevação da temperatura durante a modificação térmica, causa deformação das mesmas, principalmente pela degradação das moléculas de celulose, causando maceração da madeira (BOONSTRA et al., 2007).

Gosselink et al. (2004) reportaram rompimento e aumento na dimensão do vaso da madeira modificada termicamente, e para Yang et al. (2010) essa situação é resultado do colapso principalmente na camada S2 e consequentemente a ruptura da madeira. No entanto, para Boonstra et al. (2007); Yang et al. (2010), as alterações que se observam na estrutura anatômica ainda são menores em relação as alterações físicas e químicas.

Em estudos realizados com microscopia ótica, para caracterização da madeira modificada termicamente, Fengel (1989), observou ocorrência de rachaduras causadas pelo rompimento de vaso em temperaturas de 150°C. Situação semelhante foi observada por Esteves et al. (2008), em madeira submetida ao tratamento hidrotérmico a 120-160 °C, com observação de remoção de substâncias depositadas nos vasos e aumento da porosidade da madeira.

Por outro lado, em pesquisas feitas com madeira de coníferas (*Pinus sylvestris*) verificou-se aumento do diâmetro dos traqueídeos nos tratamentos de 180 e 230 °C, e para temperaturas de 115°C, houve uma redução dos mesmos (HIETALA et al., 2002).

Além das fibras, as células do parênquima por serem curtas e com função de armazenamento, também passam por alterações causadas pela degradação das moléculas de celulose durante os tratamentos térmicos (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; FENGEL; WEGENER, 1983). Esta

situação foi relatada por Boonstra et al. (2007) em madeiras de folhosas nativas da Europa modificadas termicamente em dois estágios, e por Batista et al. (2011) em madeiras de *Eucalyptus grandis* submetidas ao processo VAP HolzSysteme.

Não obstante, Mburu et al. (2008) para a madeira de *Grevillea robusta* relataram que a modificação térmica não altera a estrutura anatômica da madeira em nível micrométrico, e o amolecimento causado pela elevação da temperatura, resulta na degradação dos constituintes químicos moleculares com manutenção das características das células do parênquima.

2.5. USINAGEM DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE

No caso das madeiras modificadas termicamente, apesar das vantagens estéticas reportadas por Brito et al. (2006), ainda existem preconceitos para sua utilização, uma vez que as perdas de massa causadas pelas temperaturas aplicadas no processo, afetam as propriedades de resistência e consequentemente de usinagem tais como rugosidade, rasgo e furação da madeira para beneficiamento.

Assim sendo a utilização da madeira de eucalipto para usinagem se mostrou viável, desde que se considere o uso de espécies com características favoráveis, além da facilidade e boa adaptação às qualidades do produto final a ser obtido durante o processamento por utilização de ferramentas manuais e mecânicas (SILVA et al., 1997)

Silva et al. (1997), ainda afirmaram que a usinagem pode ser afetada pela variabilidade da madeira, condições das máquinas, ferramentas de corte e treinamento do operador, devendo todo o processo ser avaliado continuamente.

Segundo Bonduelle (2001), os principais fatores envolvidos no processo de usinagem são a espessura de corte, velocidade de avanço, ângulo de ataque, rotação do eixo porta-ferramentas, número de gumes de corte da ferramenta, além da massa específica e grã da madeira, e todos estes devem ser combinados com a escolha e uso correto das ferramentas, bem como a melhoria das condições de corte para reduzir a quantidade de superfícies imperfeitas nas operações.

2.5.1. Rugosidade

A rugosidade superficial é uma característica importante para qualquer produto de madeira, independente do uso final (interno ou externo). Um dos principais objetivos durante o processamento da madeira é a redução desta propriedade para obter melhorias na qualidade de revestimentos por vernizes e outros produtos de acabamento (KILIC et al., 2006; PALERMO et al., 2014).

Segundo Yildiz et al. (2006); Budakci et al. (2013), o impacto das operações de usinagem sobre a qualidade do produto, tem resultado em inúmeras pesquisas, empregando vários tipos de maquinário com diferentes metodologias de usinagem, e avaliação de superfícies, visando qualificar a rugosidade tanto no aplainamento ou no lixamento, para as mais variadas aplicações da madeira.

Contudo, a madeira dificilmente Possui faces lisas, mesmo depois da realização de operações de aplainamento e lixamento, em decorrência das irregularidades das superfícies que por sua vez são causadas pela variação estrutural, implicando em ajustes das ferramentas durante a realização da maioria das operações, de acordo com às orientações dos elementos estruturais da madeira (JAKUB; MARTINO, 2005; EFE et al., 2007).

A modificação térmica torna a madeira mais branda para a realização dessas operações, pela redução da rigidez, afetando de forma positiva na rugosidade. Com a elevação da temperatura observa-se o rearranjo e a cristalinidade de uma porção das moléculas de celulose, resultando no decréscimo da rugosidade e melhor qualidade de superfície (OLEK; BONARSKI, 2008; PALERMO et al., 2014).

Korkut et al. (2013) ao avaliarem madeiras nativas da Turquia, submetidas a modificação térmica em estufa por 212°C, observaram redução dos parâmetros de rugosidade (Rz). Em outro estudo realizado com madeira de *Fagus orientalis*, e *Pinus sylvestris*, Baysal et al. (2014) também observaram redução da rugosidade com o aumento da temperatura em estufa elétrica.

Em avaliação de diferentes tempos de aquecimento acelerado Turkoglu et al. (2017) observaram aumento da rugosidade e consequente redução da qualidade da superfície em madeira de *Fagus orientalis* submetida a 220 e 230

°C em estufa laboratorial, atribuindo esses resultados ao estado quebradiço da madeira nas temperaturas testadas.

2.5.2. Furação e rasgo horizontal da madeira

A possibilidade de trabalhar com ferramentas para realização de furações para cavilhas, dobradiça e rasgo em furadeira horizontal são também de extrema importância, na qualidade do produto, e segundo Lucas Filho (2004), estes parâmetros estão também associados com a geometria e o material de construção da ferramenta, bem como as características da madeira.

Para Lucas Filho (2004), as ferramentas de corte devem possuir diversas propriedades com o objetivo de atender a diversas solicitações de corte. E Gonçalves (1993), salienta que na seleção de uma ferramenta de corte devem ser considerados fatores ligados a natureza do material a ser usinado, tipo de operação realizada, condições e modelo da máquina, forma e dimensões da ferramenta, custo do material, emprego de lubrificação ou refrigeração e demais condições de usinagem.

Assim sendo, a ferramenta ideal para usinagem deve apresentar dureza, tenacidade, resistência ao desgaste, compressão e cisalhamento, resistência ao choque térmico, resistência ao impacto e resistência à oxidação (MACHADO et al., 2011). Porém, Bilesky (2015), afirma que as propriedades desejáveis não são encontradas todas numa única ferramenta. E conforme a aplicação da mesma sobre a madeira é desejável que prevaleçam algumas propriedades em relação às outras.

Para contornar a dificuldade na utilização dessas ferramentas perante as mais diversificadas propriedades observadas pode-se optar por alterações na madeira para redução da rigidez através da modificação térmica uma vez que, a brandura causada na madeira reduz a força e potência de corte necessárias para a realização das furações, conforme foi observado por Wilkoski et al. (2013).

Neste contexto, em estudos realizados por Santos et al. (2011), verificaram aumento da qualidade na superfície usinada em ensaios de furação da madeira de *Corymbia citriodora* modificada termicamente em forno elétrico.

No entanto, segundo Palermo et al. (2015), a modificação térmica reduz a qualidade da superfície no ensaio de furação para broca, enquanto para o teste de rasgo os autores enfatizam melhorias de qualidade de superfície destas madeiras.

Essa situação traz as discussões levantadas por Lucas Filho (2004); Machado et al. (2011) em relação à importância da qualidade da madeira, aliado à geometria da ferramenta, pois os mesmos sustentam que a qualidade da superfície submetida à furação e operação de rasgo depende do tipo de madeira, da ponta da broca e que as madeiras de maior densidade tendem a apresentar menos defeitos e ondulações na saída da ferramenta durante as operações de furação e rasgo. No entanto, existem algumas exceções, pois algumas madeiras possuem elevado conteúdo de extrativos e sílica que interferem no fio da ferramenta de corte, gerando defeitos de usinagem e superfície de menor qualidade.

Na usinagem para os perfis de encaixe de duas, três ou mais peças, o entendimento das possíveis falhas que possam surgir pelo rompimento das células causado por rejeição de ferramentas em furação e rasgo é importante, pois segundo Garcia et al. (2011), a degradação física das paredes durante a modificação térmica da madeira, pode trazer um efeito direto sobre a resistência promovido pela redução na ligação entre as fibras causando maior fendilhamento das madeiras modificadas termicamente.

2.6. QUALIDADE DE PISOS DE MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE

As madeiras de eucalipto são uma alternativa viável para substituição das espécies amazônicas na obtenção de PMVA. Porém, a elevada instabilidade dimensional e a propensão de defeitos, limitam a sua utilização na maioria dos casos, pois comprometem a sua aparência estética e decorativa.

Assim sendo, a modificação térmica, permite fazer face aos problemas enfrentados no uso destas madeiras, tendo em consideração as exigências do mercado adequação do produto, desgaste, manutenção, conservação e inalterabilidade. Principalmente para produtos como pisos de madeira nos quais, faltam uma norma para sua padronização quanto ao processo de fabricação para o mercado (MARTINS et al., 2013).

A ASTM D2394-83 (1994), têm sido usada para simulação de uso de pisos em serviço, por meio de resistência sob diferentes condições, considerando o aspecto estético e cargas aplicadas para cada situação de utilização, e características de cada tipo de piso encontrado no mercado, que segundo a Revista Folha (1998) citada por Padilha (2005), são classificados em assoalhos, carpetes de madeira, laminados, tacos e parquetes.

Assim sendo, na tentativa de evitar situações como desnivelamentos, e riscos de descolamentos, para os diferentes tipos de pisos, recomenda-se a realização de ensaios de resistência por simulação de cargas severas e pouco severas:

2.6.1. Abrasão e dureza superficial

As resistências à abrasão e dureza superficial são importantes índices que refletem a qualidade da madeira para pisos, bem como para outras aplicações. As análises dessas variáveis têm apresentado evolução na caracterização de superfícies de madeira (GONG; LAMASON, 2010). Porém Doyle; Walker (1984) afirmaram que a determinação precisa destes parâmetros é fácil e permitem comparações entre as demais espécies e materiais.

Um dos grandes problemas discutidos por Niemz; Stubi (2000) são as características das endentações causadas pelos rebolos abrasivo e esferas de aço durante a execução dos ensaios, pois, são de difícil avaliação visual, uma vez que geram diferentes formas de depressões pelo efeito do afundamento diferenciado que ocorrem nas diferentes faces da madeira em que o ensaio é realizado (radial ou tangencial).

No caso da resistência à abrasão, Martins et al. (2013), enfatizam que esta propriedade é contemplada como fundamental para a determinação da qualidade de pisos pela sociedade americana para testes e materiais. E Blanco-Flórez et al. (2015), sugerem a dureza superficial como um dos parâmetros mais importantes para avaliação do desempenho de pisos. E Segundo Kollmann; Côté Junior (1968) a dureza superficial tem variação proporcional aproximada com a densidade da madeira. E em conjunto com a abrasividade dependem dos planos em que a madeira é testada, assim como

do teor de umidade abaixo do PSF em que a madeira se encontra no momento do ensaio.

Neste contexto, Herujarvi (2004), para madeiras de *Betula pendula* e *Betula pubescens* observaram efeito da densidade na dureza superficial. Situação que foi confirmada por Rautkari et al. (2010), para densificação de superfície, com melhorias na dureza superficial da madeira de *Pinus sylvestris* de maior densidade. Contudo, Leite (2014) obteve resultados diferentes, relatando aumento da dureza superficial na madeira de *Corymbia maculata* retirada no topo do tronco, região da árvore considerada de menor densidade.

No caso da madeira modificada termicamente, Hanger et al. (2002) corroboram com as mudanças das propriedades mecânicas de acordo com a intensidade dos tratamentos térmicos, E baixas intensidades podem melhorar a resistência enquanto, intensidades elevadas podem causar redução de propriedades de resistência à abrasão e dureza superficial.

Neste contexto, Gunduz; Aydemir, (2009), verificaram redução da dureza superficial na madeira de *Carpinus betulus* submetida ao tratamento térmico. Semelhante a esses resultados, Yildiz et al. (2006), observaram redução da dureza superficial das madeiras de *Fagus orientalis* e *Picea orientalis* modificadas termicamente. No entanto, Boonstra et al. (2007), verificaram maior dureza superficial paralela e perpendicular em madeiras submetidas ao tratamento térmico em comparação com às não modificadas termicamente.

Para a abrasão da madeira, Kol et al. (2015), verificaram aumento da perda de massa com o aumento da temperatura e tempo de exposição na modificação térmica de madeiras de *Abies nordmanniana* e *Fagus orientalis*, submetidas ao mesmo número de ciclos abrasivos. Para madeira de *Pinus* sp. modificada termicamente em duas temperaturas, Coelho et al. (2017) verificaram incrementos na perda de massa por abrasão somente a partir de temperaturas de 190°C.

2.6.2. Endentação por cargas distribuída e concentrada

As endentações causadas por cargas distribuídas e concentradas na superfície do piso, são utilizadas para avaliação de desempenho dos mesmos

em serviço ao longo do tempo. Segundo Blanco-Florez et al. (2015), esses ensaios permitem antecipar as informações sobre o uso e estabelecer critérios para fins de especificação, proporcionando mais segurança e vida útil do produto.

Padilha et al. (2006) avaliaram as endentações causadas por impacto de queda de pequenos objetos, araste de cargas para simulação de piso em serviço, uma vez que segundo a ASTM D 2394-83 (19994) estes ensaios simulam depressões e desgastes causados para cada uma das situações.

Para Doyle; Walker (1984) a análise destes ensaios é difícil, pois durante a endentação, as fibras estão sujeitas a diferentes tensões, fazendo com que no mesmo material ocorram diversos tipos de falhas que vão desde o rompimento das fibras até a divisão da peça, provocados pela penetração da ponta do endentador.

Doyle; Walker (1984) ainda relataram que a magnitude dessas tensões e as deformações dependem também da taxa de penetração, força de carregamento e tempo para o recuo da ferramenta endentadora na superfície da madeira. Segundo Tsoumis (1991); Barnett; Jeronimidis (2009) em consequência da forma achatada, que estas tomam durante o esmagamento causado pelas forças e cargas aplicadas na superfície, estas tendem a se movimentar gradualmente para o interior da madeira, resultando em aumento das depressões.

Para Barnett; Jeronimidis (2009), em madeiras de maior densidade, a movimentação é mais difícil e mais lenta, em função do tamanho e tipo de células. Segundo Blanco-Flórez et al. (2015), a variação de densidade entre as espécies explica a diferença nas respostas das depressões entre as madeiras. Em estudos realizados por Santos et al. (2010) foi verificado aumento das depressões em clones de maior densidade da madeira. Todavia, Martins et al. (2013) observaram redução de depressões em madeira de maior densidade em estudos realizados com *Corymbia maculata* e *Eucalyptus* sp.

2.7. ACABAMENTO DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE

2.7.1. Aderência de verniz e brilho no acabamento superficial

O acabamento superficial da madeira visa melhorias estéticas, além de proteger e preservar o produto acabado, tornando-o mais agradável e com coloração natural para utilização nos diferentes ambientes (SILVA, 2002; SAHIN; KORKUT, 2016). Segundo Souza et al. (2011), os produtos de acabamento superficial podem ser de origem natural (ceras e óleos) e de origem sintética (vernizes, tintas e seladoras) que são os mais utilizados.

No entanto, algumas características da madeira podem afetar a qualidade do acabamento realizado. Ozdemir; Hizirolu (2007); Silva (2002) afirmaram que a textura grossa e obstrução de vasos, por exemplo, diminuem a aderência dos produtos de acabamento. Ainda segundo Silva (2002) a alta qualidade dos revestimentos só é alcançada se a superfície que ancorará estes produtos de acabamento estiver em condições ideais (textura fina, ausência de partículas sólidas e sem defeitos) após o lixamento com disponibilidade de grupos OH⁻ para umetação da madeira.

E os métodos de aplicação e características dos produtos utilizados também afetam a qualidade do acabamento, e uma boa aplicação e um bom produto de acabamento melhora a aparência e vida útil da madeira (OZDEMIR; HIZIROGLU, 2007)

Richter et al. (1995) afirmam que o acabamento da superfície pode ser avaliado utilizando vários parâmetros, e os mais comuns são a aderência (resistência do revestimento por ação de forças) e o brilho (capacidade do material acabado refletir luz após aplicação do verniz) por serem mais baratos e de fácil execução.

Korkut et al. (2012) reportam que o brilho e a aderência diminuem após a modificação térmica da madeira, pois o escurecimento causado pela emigração dos extrativos reduz a reflexão de luz e a degradação das moléculas de hemiceluloses e celulose, reduzem a capacidade de ligação da madeira com outras matérias aderentes.

Assim sendo, Çakicier et al. (2011a) com diferentes tipos de vernizes aplicados na madeira modificada termicamente de três espécies de folhosas,

verificaram redução no brilho e aderência, com aumento da temperatura e tempo de exposição. Porém, Ozalp et al. (2009) verificaram melhorias no brilho após o acabamento com produtos à base de água, em madeira mantidas por duas horas a 100 °C.

Para Turkoglu et al. (2015), a modificação térmica reduz o brilho e aderência por vernizes na madeira, promovido pelo aumento da porosidade e redução dos grupos hidroxila presentes nas moléculas de hemiceluloses e celulose, que são responsáveis pela ligação com a maioria dos produtos utilizados no acabamento.

2.7.2. Atrito estático e dinâmico

Os coeficientes de atrito estático e dinâmico, apesar de serem muito pouco utilizados em produtos a base de madeira, são importantes para determinação do grau de rugosidade entre duas superfícies em contato.

Portanto, no caso das madeiras de eucalipto apesar de devidamente acabadas, por operações de lixamento ou por aplicação de produtos de acabamento superficial, Mossmann et al. (2002) afirmam a presença de superfícies rugosas quando analisadas microscopicamente. E que esta é responsável pela força que se opõe ao escorregamento. Segundo Mossmann et al. (2002) essas forças são importantes na vida cotidiana, pois apesar do desgaste que a mesma gera, independentemente da massa do corpo e do ângulo de inclinação da superfície, sem a mesma não seria possível caminhar sobre a superfície do piso.

Santos et al. (2008) relataram variação de 0,3 a 0,5 no coeficiente de atrito dinâmico e atrito estático da madeira respectivamente, em contato com madeira, metal e couro. Ainda segundo Martins et al. (2013), não existe padronização para o atrito mínimo e máximo exigidos, e os valores determinados servem de referência para evitar queda de pessoas sobre os pisos, em decorrência de escorregamentos.

Neste contexto podem ser destacados também estudos conduzidos por Padilha et al. (2006) que observaram variação de 0,33 a 0,42 no atrito estático e 0,18 a 0,26 no atrito dinâmico de clones de eucalipto. Em outro estudo realizado por Martins et al. (2013), com madeiras de diferentes massas

específicas, foram observados aumentos de atritos estático e dinâmico com aumento da massa específica básica da madeira.

2.8. UTILIZAÇÃO DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE

O uso externo da madeira pode causar a sua deterioração por organismos biológicos, degradação da superfície, em resultado da lenta erosão das fibras de madeira promovidos pelos efeitos da luz solar e da água (YALINKILIC et al., 1999; TURKOGLU et al., 2015).

Essa situação origina a descoloração e perda de brilho, seguida pelo aumento da rugosidade da madeira (OZGENC et al., 2012). Porém, quando a mesma é submetida à modificação térmica, essas condições podem ser controladas, mantendo a estética e vida útil da mesma por longos períodos.

Porém o uso externo tem algumas limitações, pois, apesar da madeira modificada termicamente apresentar vantagens em termos de propriedades estéticas pela uniformidade na coloração e melhor estabilidade dimensional nos diferentes planos, e resistência biológica, a redução da resistência mecânica em relação à madeira normal pode ser uma desvantagem.

A madeira modificada termicamente tem largas aplicações, principalmente para uso em revestimento, *decks*, móveis de jardim e esquadrias para janelas e portas bem como uso interno em móveis de cozinha, parquet, painéis decorativos, interior de saunas (ESTEVES et al., 2008). Ainda segundo Esteves et al. (2008), na Europa, pela coloração escura, a madeira modificada termicamente é frequentemente usada como material substituto de espécies tropicais ameaçadas de extinção.

Lourenço et al. (2014), afirmam que é acompanhar a evolução do consumo da madeira modificada termicamente, pela dificuldade das empresas de revelar os volumes vendidos nos últimos anos, no entanto, sabe-se que a mesma é vendida tanto em bruto como perfilada, para uso em revestimento de paredes, pavimentos, pergolados, varandas, saunas, parques temáticos, anfiteatros e centros escolares, como se pode observar na FIGURA 1.

FIGURA 1. APLICAÇÕES DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE EM AMBIENTES EXTERNOS.



A: Casa em Vale Bem-Portugal; B: Parque temático da ilha da Madeira-Portugal; C: Anfiteatro em Mértola-Portugal; D: Centro escolar de Mouriz- Portugal.

FONTE: Esteves et al. (2014).

Vale ressaltar que o uso quer seja para revestimento, piso de parquet ou *decks*, requer muito rigor e exigências para cumprir determinados requisitos, e em determinadas condições a dureza é um dos critérios mais importantes, principalmente para ambientes de alto tráfego.

Tem se verificado aumento do uso da madeira modificada termicamente. Reportagens conduzidas por Lourenço et al. (2014), indicaram quatro empresas em Portugal, que produzem e comercializam este produto. No mesmo estudo, os autores citam um aumento nas importações e exportações da madeira modificada termicamente entre os mercados da Suécia, Canadá, Finlândia, Estados Unidos da América, Alemanha e Estônia.

3. ESTRUTURA DA TESE.

A tese está estruturada em quatro capítulos apresentando sequencialmente os diferentes contextos das alterações causadas na madeira através da modificação térmica, e suas possíveis influências nos processos de usinagem para beneficiamento e simulação em uso para Pisos.

CAPÍTULO 1

Apresenta aspectos sobre efeito da modificação térmica nas propriedades anatômicas, físico-químicas e alterações colorimétricas na madeira, por meio de variações na distribuição dos componentes celulares, massa específica, estabilidade dimensional, proporção dos constituintes químicos de alto peso molecular da madeira.

CAPÍTULO 2

Aborda o efeito da modificação térmica na usinagem da madeira de eucalipto para beneficiamento, destacando as variações observadas em ensaio de plaina, furação com diferentes brocas e rasgo horizontal pelo método de perfil visando sua utilização para obtenção de variados produtos que possam ser utilizados em ambientes externo e interno.

CAPÍTULO 3

Reporta o efeito da modificação térmica sobre os pisos de madeira de eucalipto para uso em ambientes de baixo tráfego, por meio de ensaios de endentações causadas por cargas concentradas, cargas distribuídas, impacto por quedas de objetos, simulando a movimentação de pessoas e objetos.

CAPÍTULO 4

Relata os efeitos da modificação térmica na qualidade do acabamento superficial, pela avaliação da aderência do verniz, brilho, abrasão atrito entre superfícies no movimento de pessoas, em superfícies de madeira para agregação de valor do produto.

4. METODOLOGIA GERAL

4.1. AMOSTRAGEM E ESPÉCIES UTILIZADAS

Foram utilizados quatro clones de eucalipto provenientes de um plantio experimental de 10 anos de idade, localizado na fazenda Santa Terezinha da empresa Internacional Paper, em Mogi Guaçu – São Paulo, cujo material clonal é oriundo da Arborgen Tecnologia Florestal. Na TABELA 1 observa-se a descrição da combinação de matrizes para obtenção dos referidos clones.

TABELA 1. CLONES DE EUCALIPTO E AS RESPECTIVAS ESPÉCIES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO.

Clones	Espécie	Origem
Clone 1	<i>E. grandisxurophylla</i>	Seleção massal (SM)
Clone 2	<i>E. grandis</i>	Seleção massal
Clone 3	<i>E. grandisxurophylla</i>	Polinização controlada (PC)
Clone 4	<i>E. urophylla</i>	Seleção massal

Foram selecionadas cinco árvores de cada clone levando em consideração o diâmetro médio do povoamento, tronco reto e sem sinais de ataques por pragas e doenças. As árvores selecionadas foram derrubadas e traçadas em três toras, as quais foram desdobradas em tábuas numa serra circular dupla, que permitiu a obtenção do semi-bloco. Posteriormente o bloco foi resserado numa serra circular múltipla para obtenção tábuas com dimensões nominais de 2000 x 120 x 28 mm (CxLxE). As costaneiras obtidas do desdobro principal foram aproveitadas na serra fita horizontal, para obtenção de tábuas que foram refiladas na serra circular dupla.

4.2. SECAGEM E MODIFICAÇÃO TÉRMICA

Após o desdobro a madeira foi empilhada e seca ao ar, por um período de três meses até a obtenção de umidade final de 20%. A madeira de cada clone previamente seca, foi redimensionada em comprimento para obtenção de peças com dimensões de 650 x 120 x 28 mm (CxLxE), que foram utilizadas submetidos a modificação térmica de forma separada por clone, utilizando um forno Elétrico da marca *Linn Elektro Therm, modelo kk260* FIGURA 2.

FIGURA 2. MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO EM FORNO ELETRICO.

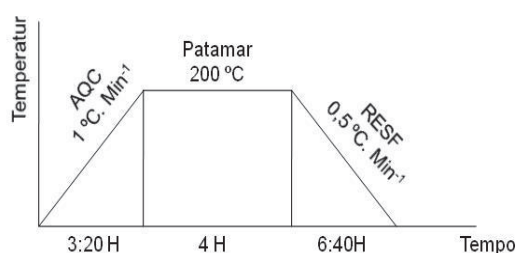


A– Seleção de madeira; **B**– Carregamento do forno; **C**– Madeira modificada termicamente; **D**– Descarregamento da madeira modificada termicamente.

FONTE: Autor (2019)

Foi utilizada uma combinação de 200 graus por quatro horas de acordo com o programa apresentado da FIGURA 3 permitindo obtenção de amostras com diferentes condições.

FIGURA 3. PROGRAMA DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA UTILIZADO NO EXPERIMENTO



AQC- Aquecimento; RESF-Resfriamento; Patamar- Modificação térmica propriamente dita.

FONTE: Autor (2019)

As madeiras de cada clone foram separadas em dois grupos de 40 peças cada (NT- para madeira na sua condição natural *-In natura* e T- para madeira modificada termicamente as quais foram acondicionadas em câmara climática e considerados nos ensaios realizados.

CAPITULO I

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de eucalipto tem muita variabilidade que se manifestam no sentido radial e longitudinal e principalmente entre partes de arvores e espécies diferentes devido às diferenças anatômicas e físico-químicas que estas apresentam (MALAN, 1988; TAYLOR, 1973).

Para fazer face das diferenças que são características da maioria das espécies e perpetuar a sua utilização em todos os campos, é necessário dar continuidade aos estudos realizados, com enfoque noutras formas de aplicação, empregando tecnologias para aumentar as garantias da sua qualidade e desempenho, pela alteração de algumas características intrínsecas do gênero, que por vezes inviabilizam a utilização destas madeiras.

Um dos principais efeitos dessa variabilidade é a elevada anisotropia dimensional, causada pela higroscopicidade, que segundo Kollmann; Côté Junior (1984) é influenciada pela massa específica da madeira e pelas suas características anatômicas como é o caso da espessura da parede celular, bem como dos grupos OH disponíveis nas moléculas de celulose e hemiceluloses causando pontes de hidrogênio.

Essa situação é uma desvantagem, pois reduz o valor de mercado do produto, para fins que requerem melhor qualidade dimensional, e a realização de tratamentos de baixo impacto ambiental pode ser uma estratégia com ganhos consideráveis (MISSIO, 2014),

Brito et al. (2006); Cadematori et al. (2012); Juizo et al. (2018), relatam consideráveis melhorias da estabilidade dimensional da madeira após a modificação térmica. Em resultado, das alterações no percentual de hemiceluloses e celulose.

Dependendo da severidade da realização da modificação térmica, as alterações causadas podem se manifestar nas propriedades de resistência da

madeira pela excessiva degradação do material lenhoso e rompimento de células da madeira (BRITO et al., 2006; MISSIO, 2014).

Por outro lado, este processo implica em benefícios estéticos, pois torna a madeira com a coloração homogeneia, escura e mais atrativa para o mercado a semelhança da maioria de espécies tropicais de alto valor comercial.

Assim sendo a modificação térmica devidamente controlada pode ser uma boa oportunidade para aumento de possibilidades de utilização das madeiras mais disponíveis e de rápido crescimento como é o caso do eucalipto podendo se tornar numa tradição para o setor industrial de processamento a semelhança do que se observa na Europa e América de norte permitindo a obtenção de produtos de maior valor agregado.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Estudar a influência da modificação térmica nas propriedades anatômicas, físicas, químicas e colorimétricas para beneficiamento da madeira de quatro clones de eucalipto.

1.1.2. Objetivos específicos

Avaliar a influência da modificação térmica na estrutura anatômica macroscópica da madeira propriedades físicas.

Identificar as alterações nos componentes químicos moleculares pela modificação térmica da madeira.

Verificar os padrões de variações de cor ocorridas pela modificação térmica da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA

Para as propriedades anatômicas da madeira nas condições *in natura* e modificada termicamente, foram consideradas variáveis macroscópicas que têm influência no beneficiamento e qualidade do produto acabado. Assim sendo, fez-se a caracterização dos quatro clones de eucalipto, a partir de cinco corpos de prova obtidos de cada clone com dimensões de 100 x 100 x 20 mm (CXLXE)

Os corpos de prova foram previamente lixados com uma lixa com grã 320, e submetidos ao polimento em lixa 500. Posteriormente foi realizado a macroscópica por meio de cinco medições na seção transversal de cada corpo de prova. No total foram realizadas 25 repetições por clone, para obtenção do perfil de porosidade, diâmetro e frequência de vasos de acordo com os procedimentos descritos por Muñiz; Coradin (1991). Assim sendo, foram captadas imagens no aumento de 40 vezes em Estereomicroscópio Discovery 12, da Zeiss com emprego do software Axio Vision Rel. 4.7,

Com base nas imagens captadas no Estereomicroscópio, avaliou-se a textura da madeira, a partir das dimensões e distribuição dos vasos, seguindo a metodologia adaptada por Filho (2012), que classifica as madeiras com textura grossa, as que possuem vasos grandes e visíveis a olho nu, com textura média, as que têm características intermédias entre a textura fina e grossa e com textura fina, cujos elementos do vaso são de dimensões pequenas, distribuídas de forma difusa, com uma superfície homogênea.

Concomitantemente, realizou-se a análise da grã da madeira (FIGURA 4) pela divisão dos corpos de provas com uma lâmina metálica e um martelo no sentido radial, tendo-se em seguida analisado o comportamento da grã por meio de imagens fotográficas nas seções abertas para avaliação da inclinação das fibras, conforme metodologia adaptada de Webb (1969).

FIGURA 4. DIVISÃO DE CORPOS DE PROVA PARA ANÁLISE DA GRÃ DA MADEIRA DE EUCALIPTO.



FONTE: Autor (2019)

2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

As propriedades químicas dos quatro clones foram avaliadas em madeiras trituradas em um moinho de faca para obtenção de serragem que, foi classificada em uma peneira com três malhas. Foi utilizado nas avaliações, o material retido na malha de 60 mesh para promover maior contato da madeira com os solventes químicos utilizados, segundo a TAPPI 204 (1997) e TAPPI 222 (1998).

Para o efeito, foram obtidas amostras em triplicata tanto para madeira *in natura*, assim como para madeira modificada termicamente, nas quais foram determinadas, a solubilidade e teores de lignina de Klason. Posteriormente, procedeu-se a somativa dos componentes, para determinar teor de holoceluloses, seguindo procedimentos da *American Society for Testing and Materials* - (ASTM D1105-7, 2007).

Concomitantemente, determinou-se o pH em material moído e classificado, que posteriormente foi seco em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Desse material foram separados 5 g de cada clone (em triplicada) e colocados num copo de Becker de 200 ml, no qual foi adicionada água destilada que facilitou a medição do pH após 2 e 24 horas com uso de um peagâmetro, segundo a metodologia proposta por Lelis (1995).

2.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Para as propriedades físicas da madeira foram consideradas a perda de massa decorrente da modificação térmica, a massa específica aparente,

taxa de absorção de água e inchamento volumétrico após imersão. A perda de massa da madeira foi avaliada somente em amostras modificadas termicamente, utilizando valores de peso das amostras obtidos antes e depois da realização dos tratamentos térmicos, segundo a metodologia proposta por Cademartori et al. (2015b).

Em seguida, determinaram-se a massa específica aparente para as duas condições da madeira a partir de corpos de prova obtidos com dimensões de 100 x 30 x 20 mm (CxLxE), totalizando 80 corpos de prova para os quatro clones avaliados. Os mesmos foram previamente acondicionados em câmara climática até atingir $12\pm 2\%$ de umidade de equilíbrio para as amostras não modificadas termicamente e $8\pm 2\%$ de umidade de equilíbrio para as amostras modificadas termicamente, adaptando os procedimentos da ABNT-NBR 7190 (1997).

Estes corpos de prova foram utilizados em ensaios de absorção e inchamento volumétrico. Para tanto foram previamente pesados, medidos e submersos em água por 48 horas. Após a imersão foram retirados e novamente pesados e medidos, para determinação da taxa de absorção de água e do inchamento volumétrico máximo, observado durante o período de imersão.

2.4. PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS

As avaliações das propriedades colorimétricas foram realizadas em cinco amostras de madeira *in natura* e cinco modificadas termicamente de cada clone, totalizando 40 amostras para os quatro clones. As madeiras foram previamente aplainadas para condicionar a melhor leitura dos parâmetros colorimétricos na superfície, por refletância difusa no intervalo visível do espectro eletromagnético, ao utilizar um espectrofotômetro da KONICA MINOLTA CM-5 ilustrado na FIGURA 5.

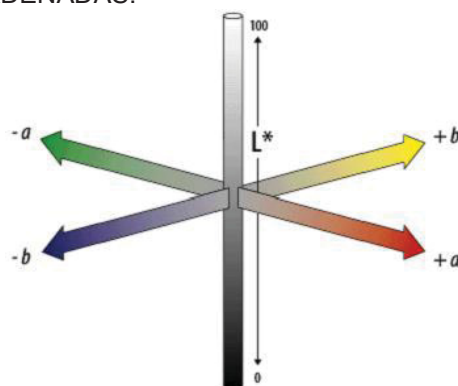
FIGURA 5. LITURA DE COR DAS MADEIRAS DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.



FONTE: Autor (2019)

Assim sendo, em cada corpo de prova foram realizadas três leituras na face tangencial e análise das coordenadas em três dimensões espaciais, conforme ilustrado na FIGURA 6, segundo sistema recomendado pela CIE (*Comission International de L'Eclairage*) para obtenção dos seguintes parâmetros colorimétricos: L^* - variável cromática para claridade; a^* - variável cromática vermelho (+a) – verde (-a); b^* variável cromática amarelo (+b) – azul (-b), os quais foram também utilizados para determinação dos valores de saturação de cor C^* e ângulo de tinta h^* de cada clone de eucalipto.

FIGURA 6. SISTEMA DE COORDENADAS CIELAB PARA MUDANÇAS DE COR DA MADEIRA EM TRÊS COORDENADAS.



FONTE: Dubey et al. (2012).

Foram determinadas as variações de cada uma das coordenadas cromáticas (ΔL^* , Δa^* e Δb^*), bem como as variações de saturação de cor (ΔC^*) e ângulo de tinta (Δh^*), pela diferença entre as leituras na madeira *in natura* e

modificadas termicamente, para obtenção da melhor relação das variações de luminosidade e coloração entre os clones.

2.5. ANÁLISE DE DADOS

Os dados das análises anatômicas foram avaliados de forma qualitativa, para simples análise dos padrões de distribuição dos componentes macroscópicos da madeira.

Já, os dados de análises químicas e físicas e colorimétricas foram analisados em *Statgraphics Centurion XV*, por meio de teste de homogeneidade de variâncias, em experimento fatorial considerando dois fatores (condição da madeira em dois níveis; e clones de eucalipto em quatro níveis). Quando detectada diferença significativa entre os tratamentos, foi empregado o teste de *Tukey* a 95% de probabilidade para discriminar as médias dos tratamentos testados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA

TABELA 2. PROPRIEDADES ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.

Tratamento	Características da madeira	Clones de Eucalipto			
		<i>E. grandis</i> <i>xurophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> <i>xurophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>
Madeira <i>in natura</i>	Grã	Direita a ondulada	Direita	Direita a ondulada	Direita a ondulada
	Textura	Média a Fina	Média a Fina	Média a Fina	Média a Fina
	Diâmetro dos vasos (μm)	104	83	96	96
	Vasos/ mm^2	8	9	9	7
	Tipo de vasos	Solitários	Solitários	Solitários	Solitários
Madeira modificada termicamente	Grã	Direita a ondulada	Direita	Direita a ondulada	Direita a ondulada
	Textura	fina	fina	fina	fina
	Diâmetro dos vasos (μm)	112	84	101	101
	Vasos/ mm^2	11	9	7	8
	Tipo de vasos	Solitários	Solitários	Solitários	Solitários

Pode-se observar na TABELA 2, que a madeira apresenta grã direita à ondulada, uma característica que se pronuncia formando desenhos retilíneos a ligeiramente inclinados na superfície, promovido pela disposição das células no sentido longitudinal.

O tipo de grã não foi alterado após a modificação térmica da madeira dos quatro clones. Essa característica não se altera, uma vez que é resultado da orientação de células que se formam durante o crescimento da árvore e desenvolvimento do lenho, e que a sua alteração somente ocorre, por meio de reações induzidas, através do uso de solventes orgânicos e inorgânicos para dissolver completamente a madeira.

A grã influenciou na textura média a fina observada na superfície da madeira dos quatro clones. E a modificação térmica alterou a característica da superfície das madeiras, tornando-as mais lisa, muito provavelmente pela suavidade causada pelas reações de hidrólises e decomposição das microfibrilas que ocorrem durante a elevação da temperatura.

Segundo Welzbacher et al. (2011), não é de esperar mudanças anatômicas significativas após a modificação térmica, e estas são estritamente

relacionadas aos tipos de processos empregues que podem se intensificar em atmosferas com presença de gás e/ou calor.

Quando se realiza a modificação térmica sem uso de gás, a semelhança do processo utilizado nesta pesquisa, Boonstra et al. (2006) afirmaram que não ocorre a oxidação da madeira, o que reduz a intensidade de degradação da mesma, diferente do que se observa nos processos *Thermowood*, *Platowood* ou tratamento a óleo.

Em resultado disso, pode se observar que a amplitude diamétrica, e a frequência dos vasos se manteve igual. Com rompimento e deformação de algumas células na madeira dos clones *E. grandis x urophylla* de seleção massal e polinização controlada, após a exposição à elevadas temperaturas, situações estas que são mais comuns ao utilizar processos *Thermowood* e *Plato* para modificação térmica da madeira.

3.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

As alterações na composição química da madeira promoveram variação considerável no percentual dos constituintes moleculares, durante as hidrolises observadas nas diferentes fases da modificação térmica (TABELA 3)

TABELA 3. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.

Propriedade	Tratamento	Clones				F
		<i>E. grandis x urophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis x urophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
ET (%)	NT	5,54 Ab *(4,23)	4,33 Ab *(3,60)	4,35 Ab *(6,65)	4,74 Ab *(2,73)	50,63*
	T	7,55 Aa *(2,62)	9,31 Aa *(2,14)	8,39 Aa *(2,57)	8,42 Aa *(2,89)	
LK (%)	NT	26,98 Ab *(6,73)	27,16 Aa *(1,33)	25,56 Ab *(1,43)	26,10 Ab *(1,13)	6,66*
	T	27,18 Bb *(3,93)	29,76 Aa *(0,65)	28,92 ABa *(1,31)	30,18 Aa *(1,24)	
H (%)	NT	67,49 Aa *(2,56)	68,51 Aa *(0,72)	70,09 Aa *(0,92)	69,16 Aa *(0,51)	17,82*
	T	65,28 Aa *(1,49)	60,94 Bb *(0,45)	62,69 Bb *(0,29)	61,41 Bb *(0,39)	
pH 24h	NT	4,37 *(0,13)	4,37 *(1,27)	4,18 *(0,60)	4,32 *(3,69)	ns
	T	3,70 *(0,62)	3,84 *(2,03)	3,63 *(0,97)	3,83 *(0,69)	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de *Tukey* feito de forma separada para cada propriedade; *Significativo a 95% de

probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns: Não significativo ($p \geq 0,05$); *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.

Em que: H (%): Teor de holocaluloses; LK (%): Teor de lignina de Klason; ET (%): Teor de extrativos totais; NaOH: Teor de extrativos em hidróxido de sódio; pH: Potencial de hidrogênio.

Podem se observar diferenças significativas no teor de extrativos da madeira dos quatro clones após a solubilidade em etanol tolueno. A madeira *in natura* do clone *E. grandisxurophylla* de seleção massal apresentou maiores teores de extrativos em relação aos demais clones. E após a modificação térmica verificou-se uma tendência relativamente diferente em que estes clones apresentaram menores teores de extrativos em relação aos demais, muito provavelmente pela diferença na intensidade de degradação de moléculas e consequente geração de novas substâncias.

Esta situação pode ser sustentada pelas teorias de Weiland; Guyonnet (2003), segundo os quais, no processo de desintegração das hemiceluloses e celulose há formação de ácido acético e fulfurílico, que se removem facilmente da madeira na reação com etanol tolueno e hidróxidos. Situação que foi reportada em folhosas e coníferas, com destaque observações de Silva et al. (2015) em madeira de *Corymbia citriodora* e Özgenç et al. (2017) em madeira de *Pinus sylvestris*.

Concomitantemente, os valores médios de extrativos totais foram semelhantes às observações de Brito et al. (2008) para madeira de *Eucalyptus saligna*, na condição natural e modificada termicamente a 180°C, assemelhando-se, também aos resultados de Cabalova et al. (2018) na madeira de carvalho (*Quercus robur*), ao utilizar 200°C de exposição por 3 horas, e 180°C por 9 horas em estufa elétrica, respectivamente.

Para os teores de lignina, verificaram-se aumentos significativos após a modificação, promovido pela resistência para decomposição deste componente, e associação que se observa entre estas moléculas, com as novas substâncias que se formam na degradação de celulosas e hemicelulosas nas diferentes fases de modificação térmica, aumentando com isso a sua proporção na madeira..

Essa situação foi reportada por Yildiz et al. (2006) segundo os quais a temperaturas a partir de 200°C começam a cristalização desta molécula que não se degrada na modificação térmica.

Apesar do aumento observado em todos os clones, os teores de lignina podem ser considerados relativamente baixos, provavelmente por se tratar de madeiras proveniente de árvores plantadas para produção de celulose e papel, setor este que prioriza o elevado teor de holoceluloses para maior rendimento da polpa celulósica.

Ainda assim, os resultados obtidos para o teor de lignina foram semelhantes às observações de Zanuncio et al. (2014) utilizando a mesma temperatura por 3h e 5h de exposição da madeira de *Eucalyptus grandis*. Já Brito et al. (2008), utilizando temperaturas mais baixas observaram teores de lignina reativamente elevados na madeira de *Eucalyptus saligna*, evidenciando-se a influência da temperatura para disponibilidade deste componente químico na madeira modificada termicamente.

Já, o teor de holoceluloses apresentou um decréscimo significativo após a modificação térmica dos quatro clones, em virtude das elevadas temperaturas utilizadas no processo, o que resultou na quebra de ligações entre os grupos hidroxila promovido pela degradação das moléculas de hemiceluloses e celulose, que são menos estáveis em relação às moléculas de lignina.

Resultados semelhantes foram observados por Yildiz et al. (2006), segundo os quais, a quebra das ligações químicas nas moléculas de hemiceluloses e celulose se intensificam a partir de 100°C, gerando novos produtos e compostos voláteis inflamáveis respectivamente, em função da atmosfera em que o processo é realizado.

Zanuncio et al. (2014) obtiveram resultados semelhantes ao utilizar 200°C e tempos de 3, 5 e 7 horas de exposição da madeira de *Eucalyptus grandis*. Todavia, em estudos com os mesmos parâmetros de temperatura, Silva et al. (2015) verificaram maior redução no teor de holoceluloses em madeira de *Corymbia citriodora* submetida a modificação térmica em atmosfera dinâmica com presença de nitrogênio, condições essas que Boonstra et al. (2006) afirmaram ter induzido para maior intensidade de degradação térmica da madeira pela presença do gás.

Contudo, Juizo et al. (2018) ao testarem processos semelhantes utilizados para a modificação térmica de quatro clones de eucalipto, verificaram

redução do teor de holoceluloses, no entanto em menor proporção após o aumento de temperaturas de 180 a 240°C para madeira de *Eucalyptus* sp.

O pH ácido foi uma característica predominante tanto antes assim como depois da modificação térmica, muito influenciado pelo percentual de holoceluloses que se mantêm presentes antes e depois da modificação térmica.

O aumento observado pode ser explicado em parte às hidrólises ácidas que ocorrem com a elevação da temperatura durante o processo, sustentando os argumentos de Bianche et al. (2015), segundo os quais, a acidez das folhosas se deve à presença das xilanas, que são a maioria nas madeiras de eucalipto e têm a presença de fortes grupos ácidos, que se formam na cadeia das hemiceluloses durante a modificação térmica.

Ainda para o pH, os valores obtidos antes do tratamento térmico, são relativamente baixos em relação aos intervalos de variação do pH estabelecidos por Boonstra et al. (2007), os quais determinaram pH entre 5,0-5,5.

Os valores obtidos, foram também semelhantes as observações de Nunes et al. (2016), que obtiveram pH inicial e após 200°C de exposição, de 4,90 e 4,09 respectivamente, em madeira de *Eucalyptus pellita*. Já, Bianche et al. (2015) determinaram valores de pH relativamente inferiores (3,97) na madeira de *Eucalyptus* sp. modificada termicamente. No entanto, estes valores estão dentro dos limites de pH estabelecidos por Kollmann; Côté Junior (1968); Fengel; Wegener (1983) que se situa entre 3-6 para a maioria das madeiras.

3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Tabela 4. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.

Propriedade	Tratamento	Clones				F
		<i>E. grandis</i> <i>x urophylla</i> SM	<i>E.</i> <i>grandis</i>	<i>E. grandis x</i> <i>urophylla</i> (PC)	<i>E.</i> <i>urophylla</i>	
MEA (g.cm ⁻³)	NT	0,50 *(1,81)	0,60 *(3,36)	0,50 *(4)	0,60 *(2,27)	ns
	T	0,46 *(4,95)	0,52 *(4,37)	0,61 *(5,72)	0,65 *(2,0)	
PM (%)	NT	-	-	-	-	4,7*
	T	18,66B *(5,19)	18,72B *(7,06)	22,72A *(6,55)	17,07B *(8,04)	
TA (%)	NT	30,34 Aa *(5,87)	20,75 Ba *(8,89)	29,77 Aa *(7,37)	21,23 Ba *(15,24)	4,41*
	T	22,16 Ab *(16)	15,57 Bb *(22,50)	19,04 Ab *(15,15)	15,25 Bb *(7,05)	
αv 48h (%)	NT	6,25 Aa *(12,35)	4,30 Ba *(24,95)	6,51 Aa *(10,69)	4,60 Ba *(25,42)	20,83*
	T	2,47 Ab *(26,85)	0,84 Bb *(29,93)	2,40 Ab *(24,09)	3,92 Aa *(13,65)	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* feito de forma separada para cada propriedade. *Significativo ($0,01 \leq p < 0,05$). ns: Não significativo ($p \geq 0,05$); *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.

Em que: MEA: Massa específica aparente; PM: Perda de massa; TA: Taxa de absorção de água; αv: Inchamento volumétrico.

Pode se observar que a massa específica aparente foi estatisticamente igual tanto na madeira *in natura* assim como na madeira modificada termicamente dos quatro clones.

Não obstante, a modificação térmica resultou em comportamentos diferentes para esta propriedade, e que nos clones *E. grandisxurophylla* e *E. grandis* de seleção massal houve uma ligeira redução em termos absolutos, enquanto os clones *E. grandisxurophylla* de polinização controlada e *E. urophylla* de seleção massal apresentaram aumento da massa específica aparente após o processo.

Apesar de terem sido usadas as mesmas condições para exposição da madeira, nos clones *E. grandisxurophylla* e *E. grandis* de seleção massal verificaram-se maiores perdas de partículas e material lenhoso por unidade de volume promovidas pelo aumento da temperatura. Já, nos clones *E. grandisxurophylla* de polinização controlada e *E. urophylla* de seleção massal não houve remoção acentuada de partículas durante o processo, pois somente

se verificou evaporação da água, com manutenção dos componentes químicos de moleculares que influenciam diretamente na massa destas madeiras.

Esta observação foi também reportada por Brito et al. (2008), na modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em estufa elétrica, que atribuíram o fato à ineficiência das fases da pirólise, para causar perda de massa da madeira em algumas espécies como foi o caso.

Em outro estudo, Santos et al. (2014) ao avaliar a modificação térmica de madeira de *Cedrelinga catenaeformis* e *Guarea trichilioides* também em estufa elétrica, verificaram aumento da massa específica aparente. Já Kortelainen (2000) ao testarem madeira de coníferas pelo processo *Thermowood*, verificaram redução da massa específica aparente com aumento de temperatura de 170, 190, 210 e 230 °C, utilizadas para *Pinus sylvestris* e *Picea abies*.

Os valores médios da massa específica aparente obtidos após a modificação térmica dos quatro clones foram semelhantes as observações feitas por Calonego et al. (2014) em madeira de *Eucalyptus grandis*.

Ainda na TABELA 4, pode-se observar que a perda de massa foi estatisticamente igual entre os clones *E. grandisxurophylla*, *E. grandis* e *E. urophylla* ambos de seleção massal que apresentaram menor degradação térmica em relação ao clone *E. grandisxurophylla* de polinização controlada

Foi mencionado por Kollmann; Côté Junior (1968); e Fengel; Wegener (1983); que as moléculas de celulose e hemiceluloses são os principais componentes químicos das madeiras de folhosas. Neste contexto pode se observar, que no *E. grandisxurophylla* de polinização controlada e que teve maior proporção de holoceluloses, apresentou maior degradação em virtude de estes serem os componentes que mais se degradam durante o processo, resultando consequentemente na maior perda de massa do respectivo clone.

Vale salientar que a determinação do teor de celulose foi feita pelo balanço de material na análise somativa dos componentes químicos. Pelo que a realização de uma análise química da termodegradação deve ser considerada, para estimar taxativamente o porcentual de açúcares (arabinose, galactose, manose, xylose e glucose) consumidos em cada etapa da pirólise nas moléculas de celulose e hemiceluloses de cada clone, a semelhança das análises realizadas por de Moura et al. (2012) na madeira de *Eucalyptus*

grandis, em diferentes condições atmosféricas e por Cademartori et al. (2015b) na madeira de *E. cloeziana* em estufa elétrica.

Pesquisas desenvolvidas por Santos et al. (2014) em madeira de *Cedrelinga catenaeformis* e *Guarea trichilioides*; Kesik et al. (2014), em madeiras de *Robinia pseudoacacia*, *Alnus glutinosa*, *Juniperus oxycedrus* e *Prunus domestica*, verificaram percentuais de perda de massa relativamente menores.

Todavia, a semelhança dos resultados apresentados na TABELA 4, Cademartori et al. (2012); Juizo et al. (2018), também em madeiras de eucalipto, obtiveram percentuais de perda de massa relativamente maiores.

Estes resultados tiveram implicações diretas na taxa de absorção de água e inchamento volumétrico máximo, dos respectivos clones, uma vez que a modificação térmica causou reduções de 33% na capacidade de absorção de água das madeiras, acompanhada com redução de até 300% no inchamento volumétrico máximo tornando as madeiras mais hidrofóbicas.

A redução do teor de hemiceluloses e celulose causado pela exposição à elevadas temperaturas, resultam da quebra de ligações entre os monômeros constituintes destas moléculas, promovido pela quebra das ligações de hidrogênio, situação que de acordo com de Moura et al. (2012); Poubel et al. (2013) resulta na redução dos grupos OH- disponíveis e responsáveis pela reação com a pressão de vapor saturado do ambiente.

Outra justificativa, é a formação de álcoois pela hidrólise dos açúcares na decomposição de hemiceluloses produzindo furfural, formado a partir das pentoses (xilose e arabinose) e o 5-hidroximetilfurfural (HMF), formado da degradação das hexoses (glicose, manose e galactose) substâncias insolúveis em água (MOON; LIU, 2012), o que reduz a taxa de absorção de água e o inchamento volumétrico máximo da madeira.

3.4. PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA

TABELA 5. PARAMETROS OLORIMETRICOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.

Propriedades Colorimetricas	Tratamento	CLONES				F
		<i>E. grandis</i> x <i>urophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>urophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
L*	NT	73,76 Aa *(3,27)	70,87 Aa *(3,55)	73,95 Aa *(3,45)	73,68 Aa *(3,41)	18,60*
	T	42,55 Ab *(10,29)	42,10 Ab *(15,90)	45,41 Ab *(14,97)	49,28 Bb *(18,61)	
a*	NT	11,41 *(7,33)	9,95 *(22,64)	10,85 *(9,35)	11,24 *(5,88)	ns
	T	11,34 *(11,89)	11,76 *(10,78)	11,65 *(5,91)	11,87 *(11,67)	
b*	NT	19,41 *(7,69)	19,82 *(4,07)	18,99 *(7,22)	19,00 *(4,38)	ns
	T	19,18 *(15,17)	18,91 *(19,6)	19,76 *(10,13)	19,51 *(11,75)	
C*	NT	22,52 Aa *(6,89)	22,24 Aa *(7,10)	21,89 Aa *(6,60)	22,08 Aa *(4,51)	7,14*
	T	26,5 Ab *(11,71)	28,13 Ab *(5,8)	26,96 Ab *(9,27)	29,39 Ab *(5,15)	
H*	NT	59,52 *(3,01)	63,6 *(7,18)	60,26 *(3,84)	59,4 *(1,63)	ns
	T	59,21 *(3,24)	57,7 *(5,14)	59,35 *(3,65)	58,65 *(2,97)	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey feito de forma separada para cada propriedade. *Significativo ($0,01 \leq p < 0,05$). ns: Não significativo ($p \geq 0,05$); *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.

Em que: MEA: L* -Clareza; a* -verde-vermelho; b*- azul-amarelo; C*- saturação de cor H*- Ângulo de tinta.

Pode-se observar na TABELA 5, variação significativa da clareza L* após modificação térmica da madeira dos quatro clones, possivelmente pela elevada intensidade de decomposição dos componentes químicos, principalmente as moléculas de hemiceluloses que se degradam formando novos extrativos responsáveis pela coloração escura e consequentemente redução dos ângulos de refletância difusa na madeira modificada termicamente.

Não obstante, após a modificação térmica o clone *E.urophylla* apresentou maior clareza em relação aos demais clones muito provavelmente por este apresentar matrizes naturalmente resistentes situação que favoreceu a fraca degradação dos seus componentes químicos de alto peso molecular após a exposição a elevadas temperaturas, a semelhança do que foi observado por Moura et al. (2012), em madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* e por Zanuncio et al. (2014) em madeira *Eucalyptus grandis*.

Vale ainda destacar os valores médios de claridade L^* obtidos, os quais tiveram uma variação de 70 a 74 na madeira *in natura*, e 42 para 49 na madeira modificada termicamente conforme foi observado por Cademartori et al. (2013) na madeira de *E. grandis*. Porém, estes valores foram superiores às observações de Moura et al. (2012) e Pincelli et al. (2012) para claridade L^* obtidos por de respectivamente.

Quanto à variação da coordenada verde-vermelho a^* também apresentada na TABELA 5, a modificação térmica não foi intensa para os quatro clones, pelo que não causou alterações significativas nas madeiras, de forma que houvesse migração de extrativos fenólicos para a superfície da madeira, como foi reportado por Pincelli et al. (2012) avaliando madeira de *E. grandis*.

Para essa matriz, os valores obtidos foram relativamente inferiores às observações de Pincelli et al. (2012) na madeira de *E. saligna*, possivelmente por serem indivíduos puros de uma espécie caracterizada pela coloração avermelhada em relação aos clones testados nesta pesquisa.

Quanto a matriz azul-amarelo (b^*) foram observados comportamentos similares da matriz (a^*), sem alterações significativas após a modificação térmica, porém com variações médias superiores em relação a esta matriz.

Para Moura et al. (2012); Pinceli et al. (2012), a coloração amarela na madeira é justificada pela presença de cromóforos associados as moléculas de lignina. Assim sendo uma vez que durante o processo não houve degradação destas moléculas, a reatividade da lignina com os complexos orgânicos formados da degradação de hemiceluloses manteve a coloração amarelada da madeira motivada pela absorção da luz visível por essas substâncias.

Assim sendo, os valores observados na cromática b^* foram semelhantes às observações de Pincelli et al. (2012) em madeiras de *E. grandis* e *E. saligna*. Valores estes que foram superiores as observações de Zanuncio et al. (2014) com media de 16 e que foram inferiores as observações de Moura et al. (2012) os quais determinaram 21 para cromática b^* .

A saturação de cor reduziu significativamente após a modificação térmica das madeiras, muito provavelmente pelo escurecimento causado durante o processo, em resultado da redução da pureza da madeira modificada termicamente em relação à cor branca.

Quanto ao ângulo de tinta, verificou-se influência da matriz (b^*), e semelhante a esta matriz não foram observadas diferenças significativas desta propriedade entre as madeiras in natura e modificada termicamente.

4. CONCLUSÕES

Pelas análises macroscópicas, os quatros clones apresentam grã direita à ondulada com textura media a fina e frequência de vasos similar após a modificação térmica.

Verificou-se aumento proporcional do teor de lignina e extrativos após a modificação térmica das madeiras dos quatro clones de eucalipto.

A modificação térmica não causou alterações significativas da massa específica aparente apesar da redução da taxa de absorção de água e melhorias na estabilidade dimensional das madeiras dos quatro clones.

Verificou-se redução da claridade, sem alteração significativa na coloração vermelha e amarela da madeira dos quatro clones de eucalipto

Após a modificação térmica verificou-se redução significativa da saturação de cor sem alteração no ângulo de tinta das madeiras dos quatro clones.

CAPITULO 2

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO E QUALIDADE DE SUPERFÍCIE USINADA PELO MÉTODO DE PERFIL

1. INTRODUÇÃO

A usinagem da madeira envolve operações realizadas no processamento secundário (aplainamento, fresamento, furação, moldura e lixamento) no qual as toras são transformadas em tábuas, pranchões, caibros e molduras para produção de partes de móveis ou produtos inteiros (PALERMO et al., 2014).

Estas operações são importantes para os próximos setores da indústria de processamento, porém a sua realização depende das características, físicas, químicas e anatômicas, as quais podem variar de acordo com o tipo de madeira, tipo de ferramenta e a respectiva geometria, para o seu melhor desempenho e qualidade do produto beneficiado.

Na usinagem de eucalipto, o controle dessas variáveis é mais limitado pelas peculiaridades intrínsecas do gênero, principalmente a presença da grã irregular em algumas das espécies, implicando em maiores cuidados nas operações e na escolha da ferramenta adequada.

Uma vez que nestes processos os cortes feitos na madeira causam tensão de ruptura, enquanto a força é transmitida por meio de ferramenta de corte, seja por ação manual ou mecânica num processo em que a orientação e a direção das forças são controladas pela direção da grã da madeira, tipo de ferramenta utilizada e pelo operador ou máquina de corte (NÉRI et al., 2000).

Assim sendo, a realização de alterações tecnológicas diretamente na madeira para suavizar os cortes feitos pelas ferramentas podem viabilizar as madeiras consideradas difíceis de usinar, e Dias Junior et al. (2015) relatam a modificação térmica para melhorias consideráveis em qualidade de superfícies usinadas, conforme foi reportado por Santos et al. (2016) os quais obtiveram maior número de peças de excelente qualidade em madeiras submetidas a este processo.

Vale ressaltar a dificuldade de qualificação dessas peças após determinadas operações por até ao momento ser realizada de forma qualitativa, por profissionais que recorrem a características observadas ao olho desarmado. Cabendo a interpretação do estado emocional do profissional.

Neste contexto, o uso de ferramentas ópticas em 3D capazes de transformar as notas atribuídas em valores mensuráveis pode viabilizar ainda mais a qualificação de superfícies usinadas, após a modificação térmica da madeira.

Assim sendo podem ser mencionados pesquisas de Khoury Junior (2005), ao utilizar métodos 3D para superfícies serradas; Lemaster; Tylor (1999) avaliando superfícies de compósitos de madeira; Kiliç et al. (2017) em superfícies usinadas de madeira maciça; Ulker (2018) em superfícies de painéis compósitos e por Cademartori (2017) também em compósitos de madeira. Contextos diferentes, que viabilizam a utilização desta técnica para avaliação de superfícies de madeiras usinadas, na condição natural ou após serem submetidas ao tratamento térmico.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a qualidade de superfícies usinadas após a modificação térmica da madeira de eucalipto.

1.1.2. Objetivos específicos

Analisar a rugosidade no aplainamento da madeira modificada e não modifica termicamente.

Quantificar as ondulações nas superfícies após operações de furação e de rasgo horizontal da madeira modificada e não modifica termicamente.

Verificar a aplicação do uso de profilometria para qualificação de superfícies submetidas às operações de usinagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE USINAGEM

Na avaliação dos parâmetros de usinagem para beneficiamento das madeiras *in natura* e modificadas termicamente foram considerados o aplainamento, furação para broca, furação para cavilha e rasgo horizontal seguindo a metodologia da ASTM D1666-87(1995).

Para o efeito, foram obtidas peças com dimensões de 5000 x 120 x 20 mm (CxLxE) para realização dos ensaios a $12\pm 2\%$ de umidade para madeira *in natura* e $8\pm 2\%$ de umidade para madeira modificada termicamente. Para cada condição das madeiras foram obtidas 12 peças de cada clone, totalizando 96 peças para os quatro clones de eucalipto.

Foram definidas as condições de usinagem para beneficiamento mais adequado, de acordo com as características dos equipamentos disponíveis no laboratório de usinagem da madeira da Universidade Federal de Lavras.

O aplainamento (FIGURA 7) foi realizado em plaina desempenadeira e desengrossadeira de três facas, acoplada a um alimentador de avanço automatizado com sistema de engrenagens e roldanas ligados num inversor de frequência para obtenção dos parâmetros do processo, nesta operação foi adotada uma velocidade de alimentação de 6 m.min^{-1} numa frequência de rotação das facas de 3750 rpm, fazendo cortes com uma profundidade de 1,5 mm, para obtenção de superfícies lisas e de menor irregularidades.

FIGURA 7. OPERAÇÃO DE APLAINAMENTO REALIZADA NAS MADEIRAS DE EUCALIPTO.



FONTE: Autor (2019)

Nas mesmas peças foram realizados ensaios de furação para dobradiça, realizando furos passantes, em uma furadeira superior de alimentação manual, com velocidade de rotação de 1760 rpm. Para as furações foram utilizadas brocas helicoidais de aço de 10 mm de diâmetro sendo realizadas três furações a 25 mm de distância de cada furo, em cada amostra de madeira (FIGURA 8). No mesmo equipamento foram realizados dois furos passantes para inserção de cavilhas, com brocas Forstners (serra copo) de 25 mm de diâmetro, os furos foram também realizados a uma distância de 25 mm (FIGURA 8).

FIGURA 8. OPERAÇÃO DE FURAÇÃO PARA DOBRADIÇA E PARA CAVILHA REALIZADAS NA MADEIRA DE EUCALIPTO.



FONTE: Autor (2019).

Foram feitos rasgos em furadeira horizontal ao utilizar brocas helicoidais de aço de 10 mm de diâmetro com velocidade de rotação de 1760 rpm (FIGURA 9) esta operação foi realizada na espessura e no sentido longitudinal da peça ao executar uma operação de furação no sentido transversal seguida de rasgo na direção das fibras.

FIGURA 9. OPERAÇÃO DE RASGO REALIZADA NA MADEIRA IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.



FONTE: Autor (2019).

2.2. Análise de dados

Os dados foram avaliados por meio de defeitos causados em cada operação realizada. Neste sentido foram analisadas a rugosidade (Rz- Rugosidade total) das superfícies aplainadas, e as ondulações (Sz- Ondulação total) nas superfícies submetidas aos ensaios de furações e rasgos.

As análises do perfil das superfícies foram realizadas com um profilômetro óptico 3D, em modo não-contato (interferometria de luz branca, Talysurf CCI, Taylor Hobson), disponível no Laboratório de Metrologia, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Com o equipamento foram medidas as rugosidades as ondulações em três pontos de cada uma das superfícies usinadas por amostra por clone.

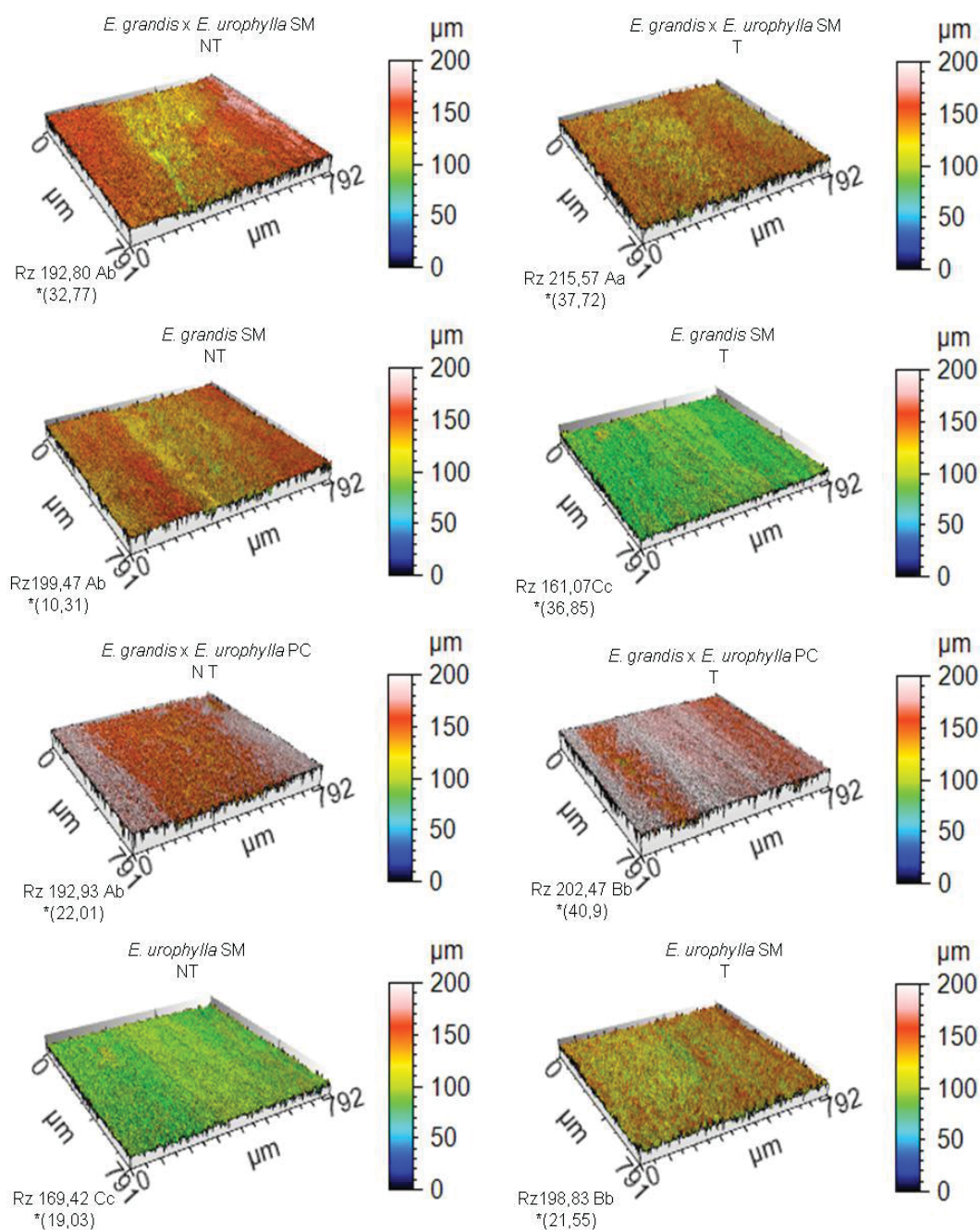
Estas medições permitiram a obtenção dos parâmetros de rugosidade e ondulações 3D, de cada perfil os quais foram analisados e interpretados de acordo com a norma ISO 4287- que estabelece os critérios para interpretações de perfil primário nas leituras obtidas para cada operação de usinagem realizada.

Os valores de rugosidade total e ondulação total foram analisados em teste de homogeneidade de variâncias, num experimento fatorial com dois fatores (condição da madeira em dois níveis; e clones de eucalipto em 4 níveis) a 5% de probabilidade de erro. Quando detectada diferença significativa entre os tratamentos, foi utilizado o teste de *Tukey* a 5% de significância discriminar as médias em função das condições aplicadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. APLAINAMENTO

Figura 10. PERFIL DE RUGOSIDADE DAS MADEIRAS DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE APÓS O APLAINAMENTO.



Rz = rugosidade total (μm). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey. *Significativo a 95% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.
 FONTE: Autor (2019).

No perfil das superfícies aplainadas apresentadas na FIGURA 10, pode-se observar que a modificação térmica somente melhorou a topografia das madeiras do *E. grandis* de seleção massal com simetria na distribuição dos picos mais altos e vales mais profundos em relação aos demais clones nos quais a modificação térmica resultou na maior remoção de partículas da madeira após o aplainamento.

No caso dos clones *E. grandisxurophylla* de seleção massal e de polinização controlada, pode ter ocorrido o início plasticização da lignina o que afetou a suavidade da madeira para ação das facas, causando a formação de falhas e lasqueamento do perfil aplainado.

Em estudos semelhantes, Unsal et al. (2011), para madeira de *Eucalyptus camuldensis* pelo método de profilômetro modelo *stylus tiper*, afirmaram que essa situação é comum ao aplicar temperaturas acima de 160°C. Pois nessa faixa de temperatura começa a se observar a cristalização da lignina e é por isso recomendável realizar operações de lixamento para redução de rugosidade.

Resultados similares foram observados por Turkoglu et al. (2017), em madeira de *Fagus orientalis*. Os autores verificaram aumento da rugosidade média com aumento do tempo e temperatura de 200 a 230 °C.

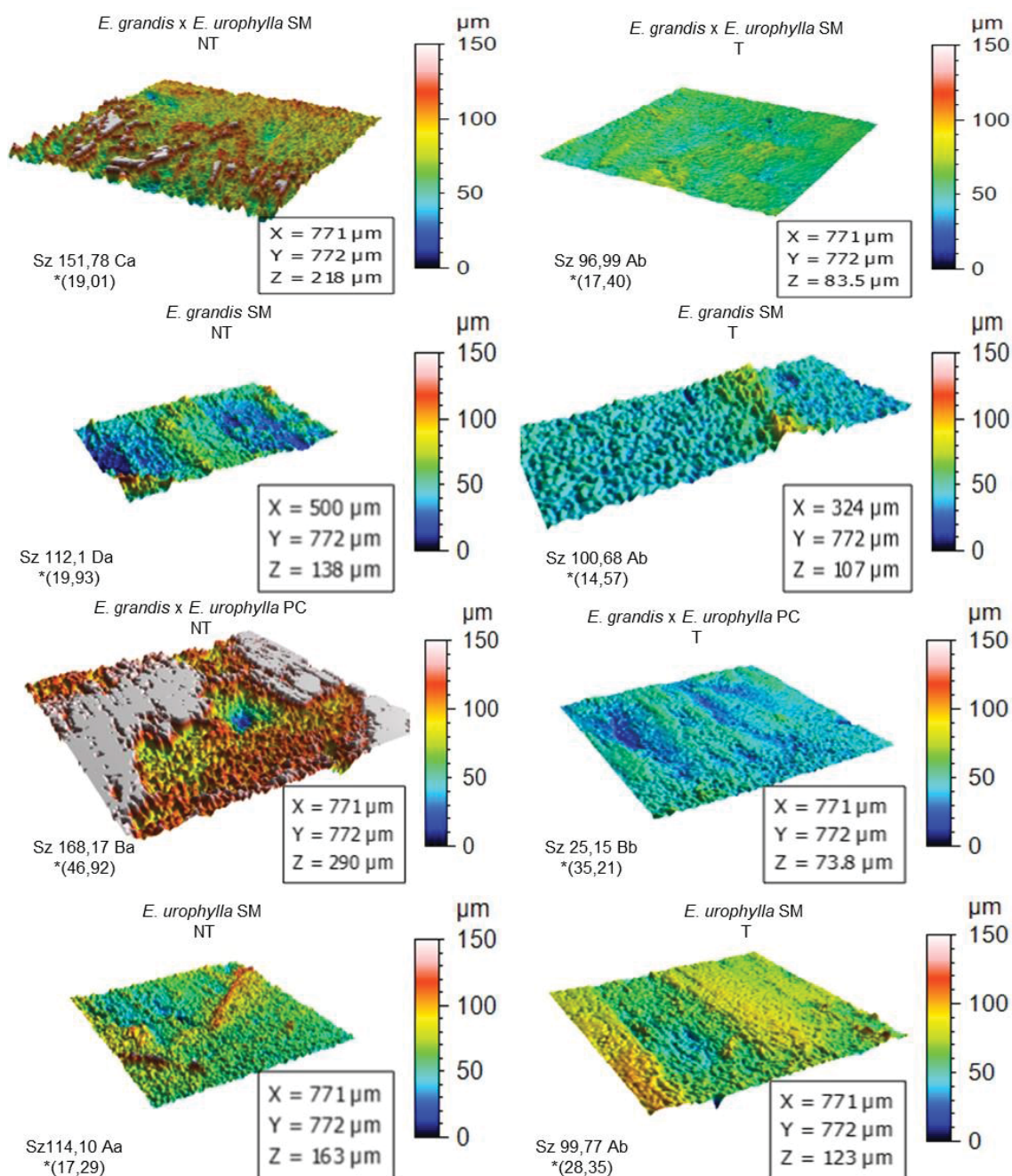
Já no caso do *E. urophylla* de seleção massal a modificação térmica da madeira não causou degradações intensas, e mantiveram-se as características de média a alta densidade, o que combinados com a dureza das facas, velocidades de alimentação e de corte, influenciaram no tipo de partículas removidas na superfície e resultou em maiores desníveis no perfil aplainado.

Resultados semelhantes foram reportados por Kvietková et al. (2015) na superfície de madeira de *Fagus sylvatica* e atribuíram a proporção de lignina disponível após a modificação térmica, que contribui para manter a estrutura da madeira quando submetida à ação das facas no aplainamento e para Yildiz et al. (2013) os tratamentos térmicos suavizam a remoção de partículas para melhorar a qualidade de superfícies aplainadas.

Para esta operação, os valores obtidos são inferiores às observações de Kilic et al. (2006) e Turkolgu et al. (2015) ao utilizar o profilômetro modelo Mitutoya SurfTest SJ-30 para avaliar o perfil de superfícies de madeiras de *Populus tremul* e *Fagus orientalis*.

3.2. FURAÇÕES PARA DOBRADIÇA

Figura 11. PERFIL DE ONDULAÇÕES EM 3D NAS BORDAS DOS FUROS FEITOS COM BROCA DE 10 MM NAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA DE EUCALIPTO.



Sz = ondulação total (μm); médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal e pela mesma letra maiúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey; *Significativo a 95% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.

FONTE: Autor (2019).

Pode-se observar na FIGURA 11 que para a operação realizada, a presença da grã ondulada pode ter contribuído no aparecimento de picos mais

altos e vales mais profundos nas superfícies submetidas à furação, e consequentemente maiores ondulações na topografia das madeiras *in natura* dos clones avaliados.

Na realização de furação para dobradiça, a ponta da ferramenta como as observadas nas brocas de menores diâmetros utilizadas, contribuíram para maior incisão e arrancamento de fibras nas madeiras *in natura*, por estas serem mais resistentes, resultando em superfícies imperfeitas. Esta observação foi reportada por Silva (2002), que recomendaram a realização do balanço adequado entre o tipo de grã com velocidades de corte mais altas nas ferramentas de menores diâmetros, para obtenção de melhores superfícies em ensaios de furação.

Esta situação foi melhorada após a modificação térmica, com destaque para o *E.grandisxurophylla* de polinização controla que apresentou 25 µm em ondulação total. Muito possivelmente a modificação térmica causou em redução da resistência para o esmagamento de fibras, na fricção pela ponta da ferramenta em relação as madeiras *in natura*, o que possibilitou a obtenção de superfícies com menos marcas e sulcos nas bordas. Situação que melhora a possibilidade de montagem segura de componentes para fixação de portas, janelas ou junção de peças, durante o processamento secundário e beneficiamento destas madeiras.

Tendência semelhante foi observada por Palermo et al. (2015) segundo os quais a suavidade da madeira após a modificação térmica reduz a resistência desta para o ataque pela ponta da ferramenta, o que diminui as possibilidades de arrancamento de maior quantidade de fibras e com isso a obtenção de superfícies mais perfeitas durante a furação.

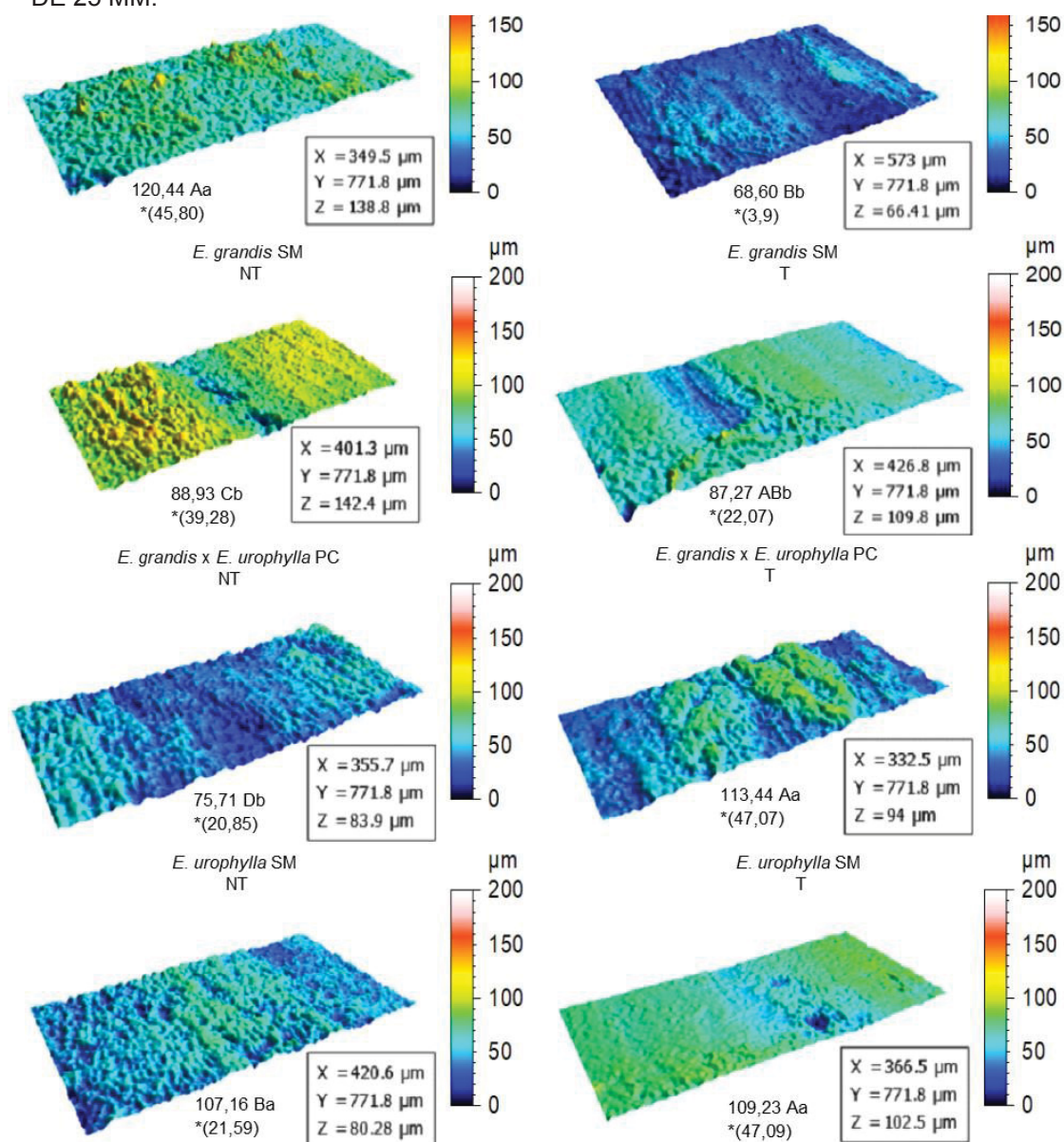
Ao fazer avaliação da madeira de eucalipto e pinus submetidas a modificação térmica, Moura et al. (2012) relataram resultados semelhantes, enfatizando também, que o bom estado do maquinário e das ferramentas são essenciais para a obtenção de melhor qualidade na usinagem da madeira.

Os valores de ondulações total são semelhantes às observações de Tu et al. (2014) no sul da China, ao comparar as duas condições da madeira de eucalipto modificada termicamente com temperaturas de 180 a 210 °C. Os autores verificaram melhorias nas superfícies com 100% de peças aprovadas.

Em outros estudos, Santos et al. (2016) também obtiveram melhores notas evidenciando melhor qualidade de furação em madeira submetida ao tratamento térmico a 200 °C.

3.3. FURAÇÃO PARA CAVILHA

FIGURA 12. PERFIL DE ONDULAÇÕES NAS SUPERFÍCIES DAS MADEIRAS IN NATURA E MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE APÓS FURAÇÃO COM BROCAS FORSTNERS DE 25 MM.



Sz = ondulação total (μm); médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal e pela mesma letra maiúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey; *Significativo a 95% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.

FONTE: Autor (2019).

Para a furação com brocas Forstner (serra copo) de 25 mm verificou-se que a modificação térmica causou redução de ondulações somente no *E.grandisxurophylla* de seleção massal. No *E.grandisxurophylla* de polinização controlada houve aumento desta variável. Já nos demais clones testados não foram verificadas alterações significativas entre a madeira na condição natural e modificada termicamente.

Em relação ao *E.grandisxurophylla* de seleção massal, esta situação pode estar associada aos maiores diâmetros observados nas suas madeiras, pois, favorecem a menor cisão na fibra pela serra copo, e quando associada a suavidade da madeira formam cavacos em hélice curto dando um melhor acabamento da superfície usinada.

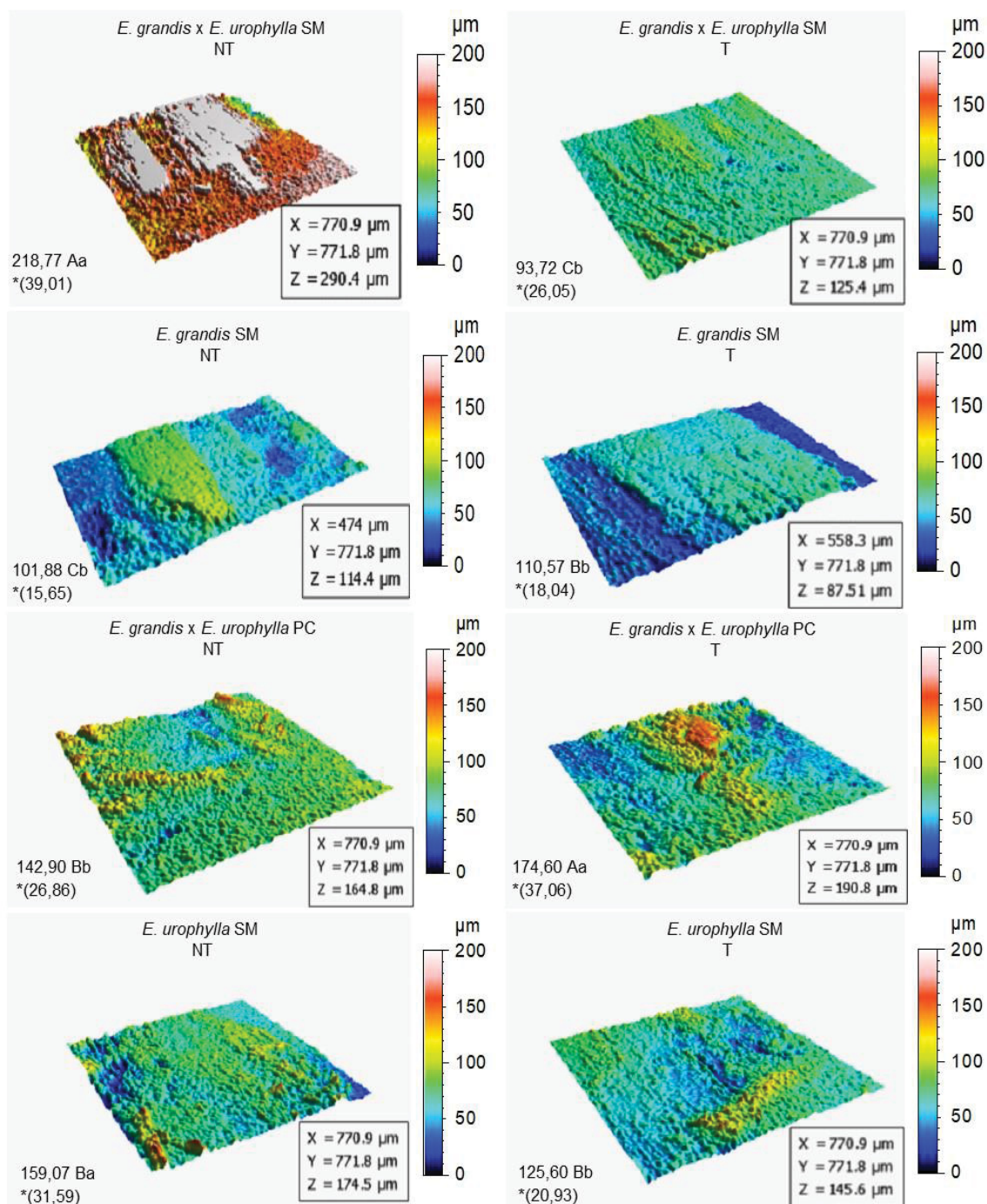
Já, nos clones *E.grandis* e *E.urophylla* de seleção massal, muito provavelmente houve influência das massas específicas aparente, uma vez que estas não foram alteradas significativamente após o processo, pelo que favoreceram na maior estabilidade e tipo de fibra obtida na usinagem a semelhança do que foi reportado por Souza et al. (2009), os quais salientam que madeiras de maior densidade são mais fáceis de trabalhar pois apresentam maior estabilidade ao corte.

Para o clone *E. grandisxurophylla* de polinização controlada, pode ter ocorrido elevada degradação térmica como foi notório na maior perda de massa apresentada no capítulo 1 para este clone. Assim sendo, a maior termodegradação pode ter causado o amolecimento da lignina que mantém a estrutura da madeira, o que fez com que estas madeiras quando submetidas a a furação combinada com a geometria das brocas Forstners, que realizam cortes angulares e curvos, favorecem a obtenção de superfícies mais onduladas após o processo.

Não só, mais também pode-se mencionar aqui a fadiga do operador, pois essas serras são mais difíceis de serem guiadas no mesmo perfil, e assim quando realizadas operações em madeira de grã ondulada aumentam as possibilidades de remoção de cavacos de maiores dimensões observações que corroboram com Kortkut; Kokaefe (2009) segundo os quais há influência da operação manual nas propriedades de furação de madeira, causado pela fadiga do operador e desgaste da ferramenta.

3.4. RASGO HORIZONTAL

FIGURA 13. PERFIL DE ONDULAÇÕES NAS SUPERFÍCIES DAS MADEIRAS DA MADEIRA IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE APO O RASGO HORIZONTAL COM BROCAS 10 MM.



Sz = ondulação total (μm); médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal e pela mesma letra maiúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey; *Significativo a 95% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). *Valor entre parênteses é coeficiente de Variação das amostras.

FONTE: Autor (2019).

Pelo perfil de ondulações causadas durante a realização do rasgo horizontal, pode-se observar na FIGURA 13 que a modificação térmica causou melhoria para as superfícies das madeiras de *E. grandisxurophylla* de seleção massal, possivelmente pelo processo tornar a madeira mais suave com o enfraquecimento das células pela degradação das moléculas de celulose, fez com que a influência do operador seja menor, pois a operação foi realizada com menor esforço, e permitindo melhor penetração da ferramenta em alta rotação.

Em sentido contrário, no *E. urophylla* também de seleção massal, a redução dos picos mais altos e vales mais profundos podem estar associadas a densidade da madeira, uma vez que após o processo, esta propriedade aumentou nestes clone, situação que segundo Silva (2002) possibilita o surgimento de cavacos de menores dimensões melhorando a qualidade das operações de usinagem.

Já no clone *E. grandis* de seleção massal não foram observadas diferenças após a realização da operação, enquanto no *E. grandisxurophylla* de polinização controlada a superfícies usinadas após a modificação térmica apresentaram maiores ondulações em relação a madeira *in natura*. Para este clone a plasticização da lignina pode ter tornado a madeira quebradiça e influenciado no tipo de cavaco, o que favoreceu para a redução da qualidade da superfície.

Mesmo com as variações observadas durante o processo, as alterações causadas nas madeiras dos quatro clones de eucalipto resultaram em classe de qualidade boa que favorecem a realização de operações de usinagem a semelhança do que foi encontrado por Silva (2002), que obteve nota excelente em quase 100% das amostras da madeira de *E. grandis*.

Os resultados desta pesquisa confirmam as observações de Palermo et al. (2015) atribuindo melhores notas para madeiras de *E. grandis* submetidas ao rasgo horizontal após a modificação térmica.

4. CONCLUSÕES

A modificação térmica somente melhorou o perfil aplainado da madeira do clone *E. grandis* de seleção massal em comparação aos demais clones avaliados.

Os quatro clones avaliados apresentaram melhorias no perfil das superfícies submetidas a furação para dobradiça após a modificação térmica das madeiras.

Na furação para cavilha somente foram observadas melhorias na madeira submetidas a modificação térmica do clone *E. grandisxurophylla* de seleção massal e *E. urophylla* de seleção massal.

A densidade influenciou nas operações de usinagem realizadas tanto em madeira *in natura* assim como em madeira modificada termicamente.

O uso de profilometria apresentou resultados satisfatórios e podem ser aplicados para avaliação de qualidade da madeira submetida à operações de usinagem.

CAPITULO 3

MODIFICAÇÃO TÉRMICA E SIMULAÇÃO DE PISO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA AMBIENTES DE BAIXO TRÁFEGO.

1. INTRODUÇÃO

Na última década tem se verificado uma crescente utilização da madeira de eucalipto, para polpação, movelaria e construção civil principalmente nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Padilha et al. (2006) relataram que essa situação está relacionado com às vantagens comparativas destas espécies, em face da crescente procura de alternativas ao uso de madeiras provenientes de florestas nativas.

Parte considerável dessa madeira é exportada, e o restante é utilizada e comercializada no mercado nacional para obtenção de diversos produtos. Porém, a utilização destas espécies para produtos de maior valor agregado ainda é limitada.

No caso de pisos por exemplo, os riscos de deterioração, delaminação e estética pela variação de cor podem comprometer estas espécies causando danos econômicos, pela necessidade de substituição de peças após a instalação.

Modes (2010) reporta a realização de tratamentos térmicos minimizar esses problemas, e também melhorar a dureza superficial com redução da flexibilidade da madeira, aspectos que para a Hardwood Review (2009), são importantes e justificam a aptidão de qualquer espécie para aplicação em piso, até porque, a madeira é um produto aconchegante em relação à outros materiais, e apreciada para instalação em ambientes residências e comerciais.

Aliado a isso, a *North American Deck and Railing Association* reportou o uso com sucesso de pisos de madeira de eucalipto modificados termicamente, em ambientes a beira mar, saunas, decks de jardins e *playgrounds*, em substituição de madeiras mais nobres e mais caras como a teca e o ipê.

Situações estas que valorizam ainda mais a madeira modificada termicamente, não só pelo histórico positivo que elas apresentam em termos

de propriedades, mas também por estas serem uma das principais alternativas ao uso de produtos químicos, cujos efeitos sobre o ambiente são amplamente conhecidos, o que fez com que o uso de alguns destes produtos esteja restringido de uso em alguns países do mundo.

Nos Estados Unidos da América e parte da Europa por exemplo, o sucesso da madeira modificada termicamente só foi possível, a partir das imposições feitas em relação aos usos de produtos químicos, abrindo ainda mais oportunidades para aplicação de madeiras de folhosas e outras espécies de rápido crescimento (Hardwoods review, 2009). Essa situação levanta possibilidades de emprego das madeiras de eucalipto para usos semelhantes, porém necessita de avaliação do seu comportamento após a modificação e simulação de uso em serviço, para propor formas de utilização em função das características observadas, para fornecer informações aos grandes mercados com produtos diferenciados e de qualidade suficiente para que sejam duráveis.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Estudar o comportamento de pisos de madeira de eucalipto *in natura* e modificada termicamente em simulação de uso em serviço.

1.1.2. Objetivos específicos

Determinar a dureza superficial das madeiras *in natura* e modificada termicamente.

Analisar as depressões causadas por queda de objetos na superfície dos pisos de madeira.

Quantificar as depressões por circulação e arraste de cargas concentrada e distribuída.

Propor possíveis usos em função das depressões obtidas nos pisos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL

Para dureza superficial foram utilizados corpos de prova com dimensões de 100 x 100 x 20 mm (CxLxE). para o efeito foram obtidas 12 peças para madeira *in natura* e 12 modificadas termicamente, completando 24 corpos de prova de cada clone, e um total de 96 para os quatro clones de eucalipto.

Os mesmos foram acondicionados em câmara climática e posteriormente submetidos a ensaios de Dureza Janka, os quais foram realizados nas duas faces, determinando-se a tensão máxima necessária para penetração da esfera de aço com 10 mm de diâmetro no corpo de prova. Este ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios da EMIC com capacidade de 10T, equipada com uma célula de carga de 500kgf.

Tomou-se o cuidado de realizar os ensaios em corpos de prova livres de defeitos que pudessem interferir nos resultados, porém foram modificadas as variáveis de velocidade de ensaio em função da espessura dos mesmos, adaptando a ASTM D143 (2014).

2.2. IMPACTO POR ESFERA DE AÇO

O ensaio de impacto e depressões causadas por quedas de objetos sobre os pisos, foi realizado com auxílio de uma torre metálica de 180 cm de altura contendo 12 divisões distanciadas por 15 cm (FIGURA 14).

FIGURA 14. ENSAIOS DE QUEDA DE ESFERA REALIZADOS NA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.



FONTE: Autor (2019)

Foram utilizados corpos de provas com dimensões de 240 x 100 x 20 mm (CxLxE), os quais foram acomodados numa base fixa da torre e cobertos por uma folha de papel carbono na superfície, para realçar a área do impacto e da calota da esfera de 51 mm de diâmetro e massa de 535g.

Para o ensaio foram consideradas quatro alturas de queda de esfera (30, 60, 150 e 180 cm), tendo-se utilizado 12 corpos de prova da madeira *in natura* e 12 modificada termicamente, totalizando 24 corpos de prova por clone por altura de queda.

Posteriormente, seguiram-se as medições das depressões causadas nas diferentes alturas, pela diferença entre a leitura realizada na profundidade e na superfície da calota de depressões, conforme a determinação da ASTM D2394-83 (2011).

2.3. ENSAIO DE CARGA CONCENTRADA

Os ensaios de carga concentrada foram realizados ao utilizar carga rolante sobre os corpos de prova, para aferir os danos em forma de depressões lineares, que podem surgir no ambiente de uso dos pisos.

Para o ensaio, foram obtidos corpos de prova com dimensões de 240 x 100 x 20 mm, (CxLxE) os quais foram separados em 12 para madeira *in natura* e 12 modificada termicamente para cada clone. Os corpos de prova foram posicionados em ângulo de 45° entre o eixo axial da madeira, e o sentido de deslocamento da carga de forma a garantir que a esta fosse aplicada sobre as fibras da madeira como se observa na FIGURA 15.

FIGURA 15. ENSAIO DE CARGA ROLANTE (CARGA CONCENTRADA NA MADEIRA DE EUCALIPTO).



FONTE: Autor (2019).

Esta disposição permitiu a simulação de araste de objetos com peso concentrado, sobre os pisos, como o araste de móveis, eletrodomésticos e instrumentos musicais. Foi utilizado um equipamento sobre trilhos com uma roda no centro, em constante contato com a madeira enquanto se desloca em movimentos de ida e volta a uma velocidade de $0,06 \text{ m.s}^{-1}$, para permitir a transferência da carga de 890N de forma repetida (ASTM D2394-83, 2011).

Foram realizadas 25 passadas na superfície da madeira, as quais foram utilizadas para medições de depressões, em seguida os corpos de prova foram novamente submetidos a mais 25 passadas, as quais foram desconsideradas pelo grau de desgaste observados nos clones *E. grandisx urophylla* de seleção massal e *E. grandisx urophylla* de polinização controlada.

2.4. ENSAIO DE CARGA DISTRIBUÍDA

Este ensaio foi realizado aplicando carga distribuída na superfície dos pisos, utilizando um rolo, cilíndrico com 225 dentes de 5 mm de diâmetro, distribuídos de maneira uniforme e em contato com a superfície da madeira, como determina a norma ASTM D2394-83 (2011), para simular danos por circulação de objetos pontiagudos ou ponta de saltos sobre os pisos.

Foram utilizados corpos de prova com dimensões de 240 x 100 x 20 mm, (CxLxE), separados em 12 para a madeira *in natura* e 12 modificada termicamente, os quais foram dispostos horizontalmente sobre os trilhos para realização de 50 e 100 passadas (FIGURA 16).

FIGURA 16. ENSAIO DE ENDENTAÇÃO (CARGA DISTRIBUÍDA) REALIZADO NA MADEIRA DE EUCALIPTO.



FONTE: Autor (2019)

A carga aplicada sobre o rolo foi de 890N, transferida de forma distribuída para o cilindro que, com os dentes, transferiu a mesma para a madeira a uma velocidade de $0,06 \text{ m.s}^{-1}$.

As medições foram realizadas a cada 50 passadas, totalizando duas medições por cada endentação, pela medição da profundidade da depressão na parte interna e externa da mesma conforme a ASTM D2394-83 (2011).

2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados da dureza Janka, depressões em carga rolante e distribuída foram analisadas em Statgraphics centurion XV, ao realizar teste de homogeneidade, por meio de análise de variância em experimento fatorial ao considerar dois fatores (condição da madeira em dois níveis e clones de eucalipto em quatro níveis).

Quando detectada diferença significativa entre os tratamentos, foi realizado o teste de *Tukey* a 5% de significância para comparação de médias entre os clones de acordo com a condição da madeira.

Concomitantemente, realizou-se análise de regressão das depressões causadas por impacto em esfera de aço, ao utilizar os pares de valores das endentações e a respectiva altura de queda da esfera, para obtenção do índice de endentação e limite máximo de depressão suportado pelas madeiras *in natura* e modificada termicamente, conforme a ASTM D 143 (2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DUREZA E IMPACTO DE ESFERA DE AÇO

TABELA 6.DUREZA JANKA E DEPRESSÕES POR IMPACTO DE ESFERA DE AÇO NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO

Propriedade	Trat.	Clones				F
		<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
D.J (Mpa)	NT	25,76 Cb *(33,14)	30,96 Ba *(18,84)	25,96 Ca *(28,90)	37,73 Aa *(18,07)	4,23*
	T	23,03 Bb *(24,4)	24,82 Bb *(14,43)	22,96 Ba *(16,64)	45,02 Ab *(24,10)	
D.I.E (mm)	NT	0,63 Aa *(26,14)	0,67 Aa *(18,18)	0,85 Aa *(10,50)	0,65 Aa *(12,30)	3,02*
	T	1,10 Ab *(27,09)	1,04 Ab *(14,61)	1,13 Ab *(26,75)	0,65 Bb *(19,62)	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey realizado de forma separada para cada propriedade de resistência a nível de 95% de probabilidade. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). * Valores entre parênteses são o desvio padrão.

Em que: N.T: D.J.- Dureza Janka; D.I.E. -Depressões por impacto de esfera de aço.

A dureza Janka apresentou diferenças significativas entre as madeiras *in natura* e modificada termicamente dos quatro clones. Na condição natural, as madeiras do *E. grandis* e do *E. urophylla* apresentaram maiores valores de dureza Janka, possivelmente por estes terem apresentado maior massa específica aparente como foi observado no Capítulo 1, situação que pode ter influenciado na resistência à penetração da esfera durante a realização deste ensaio.

A modificação térmica resultou em melhorias somente na dureza superficial do *E. urophylla*, no qual, verificou-se aumento da resistência à penetração da esfera na superfície após a submissão da madeira a elevadas temperaturas em relação aos demais clones testados.

Para Sundqvist (2004), o aumento da dureza superficial e da massa específica podem ocorrer em resultado dos processos de condensação da lignina e celulose que não se degrada na modificação térmica, formando novas ligações químicas. No entanto, o mais comum é o que foi observado no *E. grandis* x *urophylla* de seleção massal e no clone *E. grandis*, nos quais houve redução da dureza superficial, em resultado da degradação dos componentes moleculares à elevadas temperaturas.

O comportamento da dureza superficial observado (TABELA 6) está de acordo com a literatura, pois para Kollman e Cotê Junior (1968), há uma relação direta entre a dureza superficial e massa específica da madeira, enquanto Doyle; Walker (1984) afirmaram que fatores como geometria do equipamento de ensaio, ângulo de penetração da esfera e carga aplicada também influenciam na dureza superficial, e algumas espécies de maior massa específica, podem apresentar baixa dureza superficial.

Segundo Standfest; Zimmer (2008), a dureza superficial da madeira é uma das propriedades que melhor a caracteriza como matéria prima para produção de pisos. Todavia, a realização do tratamento térmico nos clones testados, resultou na redução desta propriedade à semelhança do que foi reportado por Korkut et al. (2008); Calonego (2009).

Por outro lado, Missio (2014), verificou acréscimo da dureza superficial após modificação térmica em temperaturas de 180 °C à semelhança do que foi observado no clone *E. urophylla*, e, para temperaturas mais severas o autor relata redução significativa da dureza nas madeiras de *E. grandis* e *E. cloeziana*, situação promovida pela degradação das holoceluloses.

Ainda assim, os resultados de dureza obtidos nesta pesquisa para madeira *in natura* dos clones *E. grandisxurophylla* de seleção massal e de polinização controlada foram semelhantes às observações de Batista (2012), que determinou (25 a 27 Mpa), situação que não se verificou após a modificação térmica em que o autor obteve uma variação de 10 a 14 Mpa na exposição de temperaturas de 140,160 e 180°C.

Para as depressões por impacto em queda de esfera a 1,80 metros de altura, (TABELA 6) também se observaram diferenças significativas entre a madeira *in natura* e modificada termicamente, tendo o *E. grandisxurophylla* de polinização controlada maior valor absoluto em relação aos demais clones para as duas condições testadas.

Após a modificação térmica, o *E. urophylla* destacou-se por apresentar menor depressão média. Possivelmente por este ser de seleção massal e proveniente de matrizes de alevada densidade, muito possivelmente houve manutenção das características de resistência, que permitiram a baixa degradação térmica do mesmo.

Assim sendo, a absorção de energia gerada pela esfera no momento da queda foi maior nos demais clones, com exceção do *E. urophylla* no qual a não houve diferença de depressão antes e depois da modificação térmica.

As análises foram realizadas a 1,80 metros de altura, considerada crítica, para geração de maior impacto causado pela maior distância percorrida pela esfera, resultando na maior energia acumulada e descarregada sobre os corpos de prova, pois, segundo Blanco-Florez et al. (2015), quando a esfera de aço é liberada da inércia sobre a superfície da madeira, esta absorve a energia de impacto causando a deformação, a qual é incrementada com o aumento da distância de queda.

Apesar de terem sido utilizados clones de 10 anos de idade, após os ensaios de queda, foi possível observar potencial do *E. urophylla* seleção massal para uso em condições de pisos para determinados ambientes, pois as depressões obtidas foram relativamente baixas e semelhantes às aquelas reportadas Soler (2014), em madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e teca (*Tectona grandis*) testadas a 1,80 m de altura.

Por outro lado, Padilha (2005) utilizando madeira de eucalipto, obteve valores de depressão mais baixos em comparação aos obtidos nesta pesquisa, variando de 0,47 a 0,53 mm. Já Oliveira (2016) ao avaliar as madeiras nativas, obteve depressões variando de 0,129 e 0,358 mm.

Estes resultados implicam em maiores cuidados para utilização das madeiras de eucalipto testadas. No caso do clone *E. urophylla*, que teve a melhor resposta, ainda há necessidade de se evitar a queda direta de objetos a alturas superiores a um metro, pelas possibilidades de surgimento de deformações irreversíveis que comprometem o aspecto visual e estético do piso.

3.2. ÍNDICE DE ENDENTAÇÃO

Os menores índices de endentação foram obtidos no *E. urophylla* (Tabela 7) enquanto os maiores índices foram observados na madeira modificada termicamente do *E. grandisxurophylla* de seleção massal e na madeira *in natura* *E. grandisxurophylla* de polinização controlada.

TABELA 7.ÍNDICE DE ENDENTAÇÃO PARA AS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE DOS QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.

Clones	Trat	Equação ajustada					Índice de endentação
		B ₀	B ₁	R ² _{aj}	S _{yx} (%)	F	
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (SM)	NT	0,06	0,004	0,75	12,08	76,07*	0,694
	T	0,07	0,006	0,67	25,12	61,33*	1,202
<i>E. grandis</i>	NT	-0,01	0,004	0,87	8,51	187,44*	0,695
	T	-0,05	0,005	0,77	17,02	88,31*	1,014
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (PC)	NT	-0,01	0,004	0,73	14,55	84,52*	0,751
	T	-0,02	0,007	0,81	18,36	119,7*	1,192
<i>E. urophylla</i>	NT	-0,02	0,004	0,90	6,84	287,61*	0,633
	T	0,098	0,004	0,48	23,65	20,13 ^{ns}	0,835

Em que: B₀: Coeficiente do modelo estimado; B₁: Coeficiente da altura de queda da esfera de aço *Significativo a 5% de probabilidade; R²_{aj}= Coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} %= Erro padrão da estimativa; F= Fator de significância calculado.

Assim sendo, pode-se afirmar que o clone *E. urophylla* apresentou maior resistência ao impacto na queda de objetos à altura máxima de 1,80 m, em relação aos demais, em consideração ao seu menor índice de endentação, determinado a partir dos modelos obtidos nas curvas para as depressões e altura máxima de queda de esfera de aço.

Neste contexto os limites máximos de profundidade das depressões que o respectivo clone pode alcançar são de 0,63 mm e 0,83 mm nas madeiras *in natura* e madeira modificada termicamente respectivamente, em comparação aos demais clones que podem ter maiores profundidades na queda de esfera, chegando a alcançar pouco mais de um cm em madeiras modificadas termicamente.

Ainda na TABELA 7, os modelos desenvolvidos para estimar a máxima profundidade de depressão dos quatro clones foram satisfatórios e significativos, com exceção da madeira modificada termicamente do *E. urophylla*, na qual a altura de queda não é o único fator que interferiu no limite de resistência ao impacto dos pisos.

Assim sendo, devem ser consideradas outras variáveis, que possivelmente afetaram o limite de resistência das madeiras modificadas neste clone, entre eles a densidade, a diferença na degradação das holoceluloses após a modificação térmica, e as diferenças nas faces testadas, pois foi possível observar algumas diferenças na profundidade causadas pelo impacto, nas peças com face tangencial em relação as peças com face radial.

Para este índice, os valores obtidos neste estudo foram relativamente superiores em relação às observações realizadas por Padilha (2005), que

determinou uma variação de 0,39 a 0,49 mm nos índices de endentação de clones de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade.

Em outro estudo, com espécies de eucaliptos, Martins (2008) obteve índices de 0,2; 0,24 e 0,28 mm respectivamente, em madeiras de *Corymbia maculata* e *Eucalyptus microcorys* com 32 anos e madeiras de *E.cloeiziana* com 22 anos, evidenciando-se assim, a qualidade da madeira como fator para obtenção de índices mais baixos e com melhor desempenho na simulação de queda de objetos.

3.3. DEPRESSÕES POR CARGA CONCENTRADA E DISTRIBUÍDA

Os ensaios de carga concentrada, e de endentações por carga distribuída, visaram avaliar o comportamento dos pisos sob condições extremas de esforços no ambiente de uso.

TABELA 8. DEPRESSÕES POR CARGAS CONCENTRADA E DISTRIBUÍDA NAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.

Depressões	Trat.	Clones				F
		<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
D.C.C passadas (mm)	25 NT	1,05 Aa *(23,50)	0,61 Ca *(28,52)	0,84 Ba *(19,54)	0,43 Da *(25,84)	5,60*
	T	2,22 Ab *(29,09)	0,91 Cb *(23,12)	1,81 Bb *(26,37)	0,85 Db *(23,16)	
D.C.D passadas (mm)	50 NT	0,11 Ab *(27,29)	0,08 Bb *(24,27)	0,08 Bb *(30,18)	0,03 Cb *(28,37)	1,63*
	T	0,22 Aa *(30,69)	0,10 Ba *(29,62)	0,12 Ba *(26,24)	0,11 Ba *(27,87)	
D.C.D passadas (mm)	100 NT	0,11 Ab *(28,06)	0,011 Ab *(25,51)	0,10 Ab *(27,78)	0,07 Bb *(23,69)	3,04*
	T	0,29 Aa *(30,77)	0,14 Ca *(18,22)	0,18 Ba *(27,48)	0,14 Ca *(28,42)	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey realizado de forma separada para cada tipo de depressões ao nível de 95% de probabilidade. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). * Valores entre parênteses são o desvio padrão.

Em que: D.C.C- Depressões por carga concentrada; D.C.D.- Depressões por carga distribuída.

Pode-se observar (Tabela 8) que as depressões causadas por aplicação de carga concentrada apresentaram diferenças significativas nas superfícies das madeiras *in natura* e modificada termicamente dos quatro clones testados. Vale lembrar que neste ensaio foram consideradas somente 25 passadas para as análises. Assim sendo, as menores depressões foram observadas no *E.*

urophylla, tendo o *E. grandisxurophylla* de seleção massal as maiores depressões em carga rolante.

No caso da madeira *in natura*, além do efeito da carga aplicada, grande parte das depressões estão relacionadas à baixa massa específica, principalmente no clone *E. grandis* e *E. grandisxurophylla* de polinização controlada. Após a modificação térmica das madeiras, se verificou aumento das depressões com os clones *E. grandis* e *E. urophylla*, os melhores resultados.

Estas diferenças podem estar associadas às diferenças apresentadas na degradação de componentes químicos entre os quatro clones. Pelas análises químicas discutidas anteriormente no Capítulo 1, foi possível observar que o *E. urophylla* apresentou maior disponibilidade de lignina, que é uma das moléculas associadas à maior resistência da madeira, e que possivelmente influenciou na melhor resposta deste clone no ensaio de carga concentrada.

A esta observação, Morais et al. (2005) corroboram que a lignina é uma substância responsável pela rigidez da parede celular e a sua presença na madeira causa melhorias na resistência mecânica.

Ao considerar que os ensaios foram realizados somente com 25 passadas, pode-se afirmar que os valores de depressões obtidos para os clones testados foram elevados e semelhantes aos que foram observados por Padilha et al. (2006) em *Eucalyptus urophylla*, os quais verificaram variação de 1,6 a 5,4 mm nas depressões residuais e instantâneas. Por outro lado, Santos et al. (2010), em madeira de *Eucalyptus urophylla*; Oliveira (2016), em madeiras tropicais nativas do Brasil e Marchesan (2016), em madeira de *Hovenia dulcis*, verificaram depressões relativamente baixas para qualificação da madeira mediante aplicação de carga rolante.

Neste contexto, à semelhança do que foi reportado por Padilha et al. (2006), estes produtos mostraram-se inadequados para usos em ambiente que requerem muito esforço de rolamentos de cadeiras ou mesas com rodízios, no entanto, os mesmos podem ser considerados para usos em ambientes de baixos fluxos e esforços como saunas, playgrounds e decks de piscinas.

Ainda na TABELA 8, observa-se que as depressões na madeira, causadas pela carga distribuída dos dentes pontiagudos do rolo cilíndrico, também apresentaram diferenças significativas entre os clones, tanto para

madeira *in natura*, quanto para modificada termicamente, após a realização de 50 e 100 passadas.

Contrariamente, o ensaio de endentações por carga distribuída causou depressões relativamente mais baixas, tanto durante as 50 passadas; assim como após a realização de 100 passadas das duas condições da madeira.

Das análises nos quatro clones de eucalipto avaliados, podem ser observadas algumas semelhanças no comportamento das depressões, em que os *E. grandis* e *E. urophylla* ambos de seleção massal tiveram menores depressões, tanto na condição natural assim como após a modificação térmica.

Por outro lado, os clones *E. grandisxurophylla* de seleção massal e *E. grandisxurophylla* de polinização controlada apresentaram maiores depressões tanto na condição natural assim como após a modificação térmica das respectivas madeiras mostrando-se como os piores resultados para uso como pisos. Vale ressaltar que nas madeiras *in natura* do *E. grandisxurophylla* de seleção massal não apresentaram alterações nas depressões em 50 e 100 passadas do rolo endentado, muito provavelmente pela baixa densidade do respectivo clone em relação aos demais.

Pois, essa situação ocorreu excessiva compactação pelo rolo, alcançando o seu limite máximo nas primeiras 50 passadas, em relação aos demais, que apresentaram maior resistência à compactação e com isso suportaram mais passadas de carga que permitiram alcançar maiores limites de resistência.

Estas observações foram reportadas por Martins et al. (2013), segundo os quais, a compactação ocorrida na madeira após contínuas passadas causa maior resistência mecânica e, conseqüentemente, redução das depressões na madeira.

Assim sendo, as depressões obtidas em 50 e 100 passadas de rolo na madeira *in natura* dos clones testados são semelhantes aos resultados de Padilha (2005) avaliando clones de eucalipto e Marchesan (2016) na madeira de cerne de *H. dulcis*. Todavia, esses resultados foram relativamente diferentes das observações de Martins (2008) que determinou 0,02 mm em *E. cloeziana*.

As depressões observadas após a modificação apresentaram semelhanças com resultados de Marchesan (2016) na madeira de transição entre cerne e albúrnio de *H. dulcis*. E ainda em comparação com demais

pesquisas, as endentações causadas por 50 passadas nos demais clones estudados foram semelhantes aos valores obtidos por Blanco-Florez et al. (2015) em 100 passadas na madeira de teca (*T. grandis*).

Para qualificação dos pisos, verificou-se um comportamento relativamente diferente nos limites de resistência e para cada ensaio, e com a exceção do *E. urophylla*, a modificação térmica dos restantes clones reduziu a performance dos pisos, pois os mesmos apresentaram fragilidades e tendência de quebra após simulação de uso intenso.

4. CONCLUSÕES

A modificação térmica causou redução da dureza Janka nos clones testados com exceção do *E. urophylla* de seleção massal no qual houve aumento desta propriedade.

Com exceção do *E. urophylla* de seleção massal verificaram-se aumento de depressões e de índice de endentações em queda de esfera de aço após a modificação térmica dos demais clones testados.

A modificação térmica resultou no aumento de depressões em 25 passadas de carga concentrada dos quatro clones testados.

A aplicação de 50 e 100 passadas de carga distribuída causou aumento de depressões da madeira dos quatro clones submetidas a modificação térmica.

Com exceção do *E. urophylla*, tanto em madeira *in natura* assim como a madeira modificada termicamente dos restantes clones avaliados apresentaram baixos limites de resistência para uso em piso.

Para uso em piso recomenda-se a aplicação em playgrounds, decks de jardins, piscinas, saunas e pequenos escritórios, ambientes com baixo índice de tráfego.

CAPITULO 4

MODIFICAÇÃO TÉRMICA E ACABAMENTO SUPERFICIAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO

1. INTRODUÇÃO

O acabamento em madeiras é uma etapa imprescindível para viabilizar as mais variadas aplicações e utilização da maioria dos produtos obtidos, quer seja para ambiente interno assim como para ambiente externo, a fim de protegê-los contra as diversas condições garantindo a durabilidade e a estética.

Para Watai (1995), Lucas Filho; Boehs (2007) os produtos de origem sintética (vernizes, seladoras e tintas) são os mais utilizados e a qualidade da sua aplicação está relacionada a qualidade da superfície obtida nas operações de usinagem. Uma vez que superfícies lisas tendem a favorecer na qualidade da pintura ou envernizamento, bem como na qualidade do brilho, resistência ao desgaste, tendo como consequência melhorias estéticas do ambiente de uso.

Esses aspectos ganham considerável atenção, quando são utilizadas madeiras de espécies de rápido crescimento, como é o caso do eucalipto, cada vez mais utilizado na industrialização em movelaria e construção civil, principalmente nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil.

A realização de acabamento em produtos submetidos a alterações tecnológicas por modificação térmica, podem viabilizar ainda mais estas madeiras por ser uma operação de proteção combinadas com melhorias estéticas e qualidade de produto, sendo de carência para o setor de beneficiamento. Porém, durante as alterações realizadas devem ser levadas em consideração a composição química da madeira para se obter a melhor combinação desta com determinados tipos de produtos de acabamento em função do uso final que se pretende.

Pois durante a modificação térmica a madeira passa por alterações estruturais sua na composição química, podendo influenciar nas combinações com determinados produtos, uma vez que esta pode ficar menos reativa, com alterações na permeabilidade, ângulo de contato e consequentemente maior dificuldade para distribuição dos solventes líquidos na superfície.

Neste contexto, podem ser destacadas pesquisas de Miklečić et al. (2011) com resultados satisfatórios para uso de óleos naturais com adição de solventes hidrocarbonetos alifáticos, bem como Souza et al. (2009) que relataram a possibilidade de uso de madeiras jovens de *E. camaldulensis* e *E. urophylla*, com melhorias consideráveis em aplicação de acabamentos superficiais.

No entanto, poucos são os estudos que focam a combinação do tipo e características de madeira, com os procedimentos de modificação térmica, para se efetuar o melhor acabamento e com qualidade desejada. E segundo Fonte (2016), a aplicação de produtos de acabamento, além de realçar as características estéticas da madeira, também a protege, melhorando a resistência a agentes xilófagos, e intempéries informações essas que são importantes e podem agregar valor à madeira de eucalipto.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Estudar o efeito da modificação térmica na aplicação de verniz na superfície de pisos da madeira de eucalipto.

1.1.2. Objetivos específicos

Avaliar a aderência e brilho da madeira *in natura* e modificada termicamente após o acabamento superficial.

Determinar os esforços por atrito na superfície das madeiras *in natura* e modificada termicamente.

Estimar a taxa de desgaste do verniz aplicado por abrasão na superfície da madeira.

Analisar os padrões de qualidade do acabamento superficial da madeira para melhorias estéticas no ambiente de uso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação da qualidade do acabamento na superfície das madeiras *in natura* e modificadas termicamente foram considerados ensaios de brilho e aderência do verniz, abrasão e coeficientes de atrito estático e dinâmico para aferir as alterações nas peças de madeira dos quatro clones de eucalipto no ambiente de uso.

2.1. ACABAMENTO SUPERFICIAL

O acabamento foi realizado numa linha de produção industrial, em peças com dimensões de 240 x 100 x 20mm (CxLxE). Em decorrência do menor comprimento dos pisos, foram fixados num suporte de madeira de maior comprimento, com capacidade para sete amostras fixas para facilitar a passagem dos mesmos entre os rolos da linha.

Em seguida foi realizado, uma sequência de acabamento com três lixadeiras de grã 50, 80 e 100, seguidas de aplicação de 8 g.m⁻² de *primer* curadas num secador a 70°C. Posteriormente, foram aplicados 10 g.m⁻² de massa curada em ultravioleta-UV, seguida de aplicação de 18 g.m⁻² de massa e novamente curados em UV, e lixados com lixas de grã 180, para aplicação de 18 g.m⁻² de anti-abrasivos e 15 g.m⁻² de selador.

Finalmente realizou-se um lixamento mais fino, com lixa de grã 320, seguidas por aplicação de 7 g.m⁻² de verniz que foi curado em UV para obtenção do acabamento final ilustrado na FIGURA 17.

FIGURA 17. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA ACABAMENTO SUPERFICIAL.



FONTE: Autor (2019).

2.2. CLASSIFICAÇÃO DO BRILHO DA MADEIRA

Após o acabamento as amostras foram separadas e dois grupos de cinco peças para madeira *in natura* e cinco para madeira modificada termicamente de cada clone num total de 40 para os quatro clones os quais foram utilizados para classificação do brilho obtido na madeira, com o auxílio do aparelho *Glossmeter* (FIGURA 18).

FIGURA 18. MEDIÇÃO DE BRILHO NA MADEIRA DE EUCALIPTO MODIFICADA TERMICAMENTE.



FONTE: Autor (2019).

Foram realizadas nove medições no sentido longitudinal de cada amostra, distribuídas em três na parte inferior, três na parte superior e três central, seguindo-se da classificação dos valores do brilho medidos nas faixas de intensidade de luz refletida na madeira.

Para a classificação do acabamento, foram utilizadas as faixas de unidade de brilho (um), determinados pela ABNT- NBR14535 (2008), que estabelece uma variação de 0-10 para acabamento fosco; 11-30 para acabamento semi-fosco; 31-70 para acabamento semi-brilhante; 71-90 para acabamento brilhante e 91-100 para acabamento de alto-brilho.

2.3. ADERÊNCIA

Em seguida realizou-se a avaliação da aderência do acabamento realizado. Assim sendo, em cada corpo de prova foram realizadas quadrículas de 25 mm² com um estilete, por meio de cinco cortes verticais e cinco horizontais em quatro extremidades de cada corpo de prova.

Para garantir maior precisão da distância entre os cortes, foi utilizada uma régua, e posteriormente ensaiados de acordo com a ABNT- NBR14535

(2008), utilizando uma fita adesiva filamentosa com adesividade de 32 g.mm^{-1} , a qual foi colada sobre as quadrículas (FIGURA 19).

FIGURA 19. ADERÊNCIA DE VERNIZ NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA SUBMETIDA AO ACABAMENTO SUPERFICIAL.



FONTE: Autor (2019).

Após dois minutos da fita colada em cada quadrícula, a mesma foi removida, destacando-se a área da película removida de cada corpo de prova, com o uso de uma lupa de 10x de aumento (FIGURA 19). Posteriormente, executou-se a classificação do percentual de aderência do verniz, por meio da área da madeira removida com a fita colada em cada quadricula. Realizou-se a classificação com base na determinação da norma ABNT -NBR14535 (2008).

2.4. ABRASÃO

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado para simular o desgaste do acabamento e na fricção de elementos abrasivos sobre a superfície dos pisos. Os ensaios foram realizados seguindo a ASTM D4060 (2010) da, em corpos de prova com dimensões de $100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$, os quais foram separados em cinco para madeira *in natura* e cinco modificada termicamente de cada clone, totalizando 40 corpos de prova para os quatro clones.

As amostras foram previamente pesadas e medidas, e posteriormente submetidos a abrasão no *Taber Abraser*, no qual foram acoplados dois rebolos abrasivos modelos CS-17, com duas cargas de 500g sustentadas no corpo de prova. Os corpos de prova foram submetidos à ação abrasiva para forçar o desgaste do verniz pelos rebolos abrasivos (FIGURA 20).

FIGURA 20. ABRASÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO SUBMETIDA AO ACABAMENTO SUPERFICIAL.



FONTE: Autor (2019).

A taxa de desgaste foi determinada a cada 500 ciclos, sendo utilizados 1000 ciclos de rotação dos corpos de prova no *Taber Abraser*. A taxa de desgaste do verniz por abrasão dos corpos de prova.

$$TD = \frac{100 (A-B)}{C} \quad (1)$$

Em que: TD = Taxa de desgaste em porcentagem; A = peso da amostra antes da abrasão (g); B = peso da amostra após a abrasão (g); C = n° de ciclos

2.5. ENSAIO DE ATRITO

Foram utilizados 10 corpos de prova da madeira *in natura* e 10 modificada termicamente, com dimensões de 240 x 120 x 20 mm (CxLxE) para cada clone, para simular o atrito entre a superfície das madeiras acabadas com outros objetos parados ou movimento sobre estes. Assim sendo, foi determinada a força necessária para manter estes objetos estáticos e em movimento com uso da máquina universal de ensaios da EMIC com capacidade de 30 toneladas.

Para a realização dos ensaios, os corpos de prova foram dispostos sobre uma mesa para que estes se mantivessem estacionários. Conforme a ASTM D2394 – 83 (2011) foi colocado sobre os corpos de prova um artefato de ferro com massa de 11,5 kg, revestido por couro na parte inferior em contato com os pisos. O mesmo foi ligado à máquina universal por meio de um cabo de aço acoplado à célula de carga com capacidade de 5000 N (FIGURA 21).

FIGURA 21. ENSAIO DE ATRITO DA MADEIRA DE EUCALIPTO SUBMETIDA AO ACABAMENTO SUPERFICIAL.



FONTE: Autor (2019).

O artefato foi disposto sobre os pisos para que a linha de força exercida pelo cabo coincidisse com o centro de gravidade do artefato durante a sua movimentação na superfície acabada.

Em seguida foram registradas a força máxima e média necessárias para mover e manter em movimento os objetos sobre os pisos, as quais permitiram o cálculo dos coeficientes de atrito estático e atrito dinâmico, respectivamente.

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados da classificação do brilho, aderência e abrasividade do verniz e atrito, foram analisadas de forma quantitativa, para classificação das madeiras *in natura* e modificada termicamente dos quatro clones de eucalipto, de modo a selecionar os clones que se adéquam aos melhores padrões estéticos de uso de acordo como ambiente.

Foi realizado o teste de homogeneidade em *Statgraphics centurion* XV, seguindo a análise de variância em experimento fatorial considerando dois fatores (condição da madeira em dois níveis e clones de eucalipto em quatro níveis). Quando detectada diferença significativa entre os tratamentos, foi empregado o teste de *Tukey* a 5% de significância para selecionar os que se comportam melhor ao acabamento realizado.

Concomitantemente, foram desenvolvidos gráficos das variações colorimétricas entre as madeiras *in natura* e modificada termicamente após o acabamento, ao considerar as variações das coordenadas cromáticas obtidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. BRILHO E ADERÊNCIA DE VERNIZ

Pode-se observar na TABELA 9, que as classes de brilho após aplicação do verniz na superfície, não apresentaram alterações significativas nas madeiras *in natura* e modificadas termicamente dos quatro clones.

TABELA 9. CLASSES DE BRILHO E ADERÊNCIA DE VERNIZ DAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADAS TERMICAMENTE DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.

Propriedade	T	Clones				F
		<i>E. grandis</i> <i>xurophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> <i>xurophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
Brilho (um)	NT	45,48 *(0,95)	43,15 *(2,13)	39,63 *(5,59)	43,89 *(1,02)	1,70ns
	T	42,61 *(9,02)	42,75 *(6,77)	35,99 *(0,78)	44,35 *(8,90)	
Aderência (%)	NT	88,75 Aa *(9,01)	96,35 Aa *(1,03)	93,80 Aa *(5,59)	95,80 Aa *(0,79)	3,85*
	T	17,50 Bb *(30,68)	42,75 Ab *(26,42)	56,40 Ab *(27,70)	59,75 Ab *(27,88)	
Peças aprovadas (%)	NT	100	100	100	100	
	T	10	25	50	50	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. T-Tratamento

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ^{ns}Não significativo ($p \geq 0,05$).

*Valor entre parênteses é o coeficiente de variação.

Pode-se observar que houve decréscimos nas unidades de brilho após a modificação térmica das madeiras, com exceção do *E. urophylla*, no qual se verificou um ligeiro aumento desta variável após as alterações promovidas na madeira.

Para a madeira *in natura*, a uniformidade observada no brilho pode estar associada às semelhanças nas características químicas e anatômicas, entre os clones, aliados ao processo de acabamento realizado, uma vez que, em se tratando de um acabamento industrial, a uniformidade na distribuição do verniz resultou no nivelamento dos ângulos de refletância de luz sobre os pisos.

Já, nas madeiras modificadas termicamente, as semelhanças entre os clones estão associadas às alterações causadas pela degradação proporcional dos componentes químicos e emigração de extrativos

proporcionando características estéticas semelhantes após o acabamento superficial.

Todavia, a redução do brilho ocorrida pode ser vista como vantagem pois as madeiras mais escuras são mais atraentes e preferidas esteticamente, ganhando maior concorrência comercialmente em comparação às madeiras com coloração mais clara.

Apesar das três camadas de verniz aplicadas na superfície das madeiras, a redução do brilho da madeira foi inevitável, à semelhança dos resultados obtidos por Pelit et al. (2015) na modificação térmica de madeira de *Pinus sylvestris* a 200°C. Os autores salientam que a coloração escura da madeira, obtida no processo de modificação térmica, causa redução na amplitude de entrada de feixe de luz na mesma em virtude da concentração de extrativos na superfície.

Por outro lado, o fato de se ter usado verniz a base de água pode ter influenciado nos resultados, pois, segundo Çakicier et al. (2011b); Dilik et al. (2014) estes são menos brilhosos em relação aos demais tipos de vernizes. Assim sendo, os valores de unidade de brilho obtidos neste estudo, foram numericamente superiores às observações de Braga (2011) que encontrou 35,6ub em vernizes a base de nitrocelulose, classificando o acabamento como sendo semi-brilhante, à semelhança das observações do presente estudo.

Para a aderência do verniz nas superfícies acabadas, também não foram observadas diferenças significativas entre os clones na madeira *in natura*, porém após a modificação térmica, verificaram-se reduções significativas, tendo os clones *E. grandisxurophylla* de polinização controlada e o clone *E. urophylla* sido os melhores com cerca de 40% de área destacada e 60% de aderência, enquanto o clone *E. grandisxurophylla* de seleção massal teve o percentual mais baixo com 70% de área destacada e somente 30% de aderência.

Foi reportado por Cademartori et al. (2015b), Juizo et al. (2018), entre outros autores, que os tratamentos térmicos tornam a madeira mais suave e branda. Segundo Palermo et al. (2015), essas são condições ideais pela facilidade de realizar operações de usinagem, deixando-as com melhores superfícies para aplicação de produtos de acabamento e recobrimento como tintas e vernizes.

No entanto, apesar da suavidade observada na madeira, a realização de tratamentos térmicos causou redução significativa da aderência do verniz, possivelmente pela redução dos grupos hidroxila da madeira, que se encontram presentes nas moléculas de celulose e hemiceluloses, o que fez com que houvesse redução dos pares ligantes entre a madeira com a solução diluída do verniz.

Ao contrário do que se verifica na madeira *in natura* em que a presença dos grupos OH aumenta a umectação pelo verniz, situação que segundo Cool; Hernández (2011), proporciona melhores interações mecânicas em nível molecular entre os produtos de acabamento e a superfície de madeira.

Ainda para a madeira *in natura*, os percentuais de aderência foram semelhantes aos valores obtidos por Souza et al. (2011), para acabamento de madeira de *E. urophylla* e *E. camaldulensis* com vernizes a base de nitrocelulose e poliuretano.

Ainda na TABELA 9, os resultados para madeira *in natura*, são semelhantes as observações de Dias Junior et al. (2015), que após a modificação térmica, relataram que temperaturas a partir de 200°C favorecem para o maior percentual de peças rejeitadas, pela baixa aderência de verniz, pois, há maior degradação das superfícies, diminuindo a sua resistência e consolidação do produto de acabamento utilizado na madeira.

3.2. ABRASIVIDADE DO VERNIZ

As avaliações da qualidade do acabamento superficial realizadas por desgaste do verniz na superfície dos pisos (TABELA 10) após 500 e 1000 ciclos de abrasão por rebolos, apresentaram diferenças significativas entre a madeira *in natura* e modificada termicamente para os quatro clones de eucalipto.

TABELA 10. ABRASÃO DO VERNIZ APLICADO NA MADEIRA DE EUCALIPTO IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE.

T. D	Trat.	Clones				F
		<i>E. grandisxurophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandisxurophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
g/500 ciclos	NT	0,004Aa *(10,60)	0,059Ba *(8,46)	0,069Ba *(17,54)	0,055Ba *(12,97)	1,18*
	T	0,033Ab *(10,87)	0,040Aa *(12,53)	0,122Bb *(10,06)	0,055a *(19,84)	
g/1000 ciclos	NT	0,005Ca *(6,14)	0,114Ba *(7,44)	0,129Aa *(18,6)	0,101Ba *(7,0)	1,31*
	T	0,060Bb *(9,42)	0,071Bb *(9,95)	0,258Cb *(9,75)	0,101Aa *(19,40)	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). *Valor entre parênteses é o coeficiente de variação.

Em que: g/500 ciclos- Taxa de desgaste após 500 ciclos; g/1000 ciclos Taxa de desgaste após 1000 ciclos.

Após 500 ciclos de abrasão, o *E. grandisxurophylla* de seleção massal apresentou menores taxas de desgaste do verniz, tanto na madeira *in natura* assim como modificada termicamente em relação aos demais clones. E o processo de modificação térmica, resultou na redução da resistência para remoção do verniz em todos os clones, com exceção do *E. urophylla*.

Situação semelhante foi observada após 1000 ciclos de abrasão das madeiras. Essa tendência pode ser explicada pelas diferenças de densidades entre os clones. Pois, nas madeiras do *E. grandisxurophylla* de seleção massal, a baixa densidade pode ter favorecido para maior absorção e penetração do verniz nas cavidades celulares da madeira o que fez com que este seja difícil de ser removido por abrasão em relação aos demais clones.

Em situação contrária, nas madeiras do *E. urophylla* possivelmente houve baixa absorção de verniz, por estas apresentarem elevada densidade em relação aos demais clones. Essa propriedade contribuiu para que este clone fosse menos sensível ao efeito da modificação térmica, e como consequência observou-se igual taxa de desgaste do verniz entre as suas madeiras na condição natural e modificada termicamente.

De uma forma generalizada o aumento da taxa de desgaste observado na madeira modificada termicamente da maioria dos clones, pode ser explicado pelas características hidrofóbicas adquiridas após o processo. Pois a degradação das moléculas de hemiceluloses e celulose, apesar de causar a

redução da densidade e aumento de espaços porosos na madeira, causam também perda da capacidade reativa e de ligação com a maioria das soluções aquosas, resultando em ligações fracas e facilmente quebráveis, situação que contribui para que o verniz seja facilmente removido da superfície dessas madeiras, quando aplicada uma força ou ação por rebolos.

Poucas são as pesquisas que reportam resultados de abrasão após o acabamento superficial de madeiras submetidas à modificação térmica, no entanto, à semelhança da presente pesquisa, Coelho et al. (2017), para madeira maciça de *Pinus* sp. sob diferentes condições de modificação térmica, também observaram maior resistência à abrasão em madeira *in natura*.

Em outro estudo, Ayrin et al. (2015) para espécies folhosas européias por perda de massa e redução de espessura, observaram menor abrasão na madeira de *Prunus avium in natura*, em relação à madeira submetida à modificação térmica, atribuindo a perda de massa como o principal fator para estes resultados.

Todavia, Welzbacher et al. (2008) reportaram diferenças significativas na abrasão realizada no plano tangencial das madeiras *in natura* e submetidas ao tratamento térmico, no entanto, quando testados os planos radiais, os mesmos foram estatisticamente semelhantes, atribuindo assim a influências dos planos de orientação na taxa de desgaste de verniz aplicado.

Apesar das pesquisas de Welzbacher et al. (2008); Coelho et al. (2017), Ayrin et al. (2015), terem sido em madeira *in natura* e modificadas termicamente sem nenhum acabamento, serviram de base para inferir que a vida útil do verniz perante o impacto de calçados e até arraste de objetos sobre os pisos, será maior no *E. grandisxurophylla* de seleção massal e menor no *E. urophylla* apesar deste último ter apresentado melhor performance em termos de resistência mecânica para uso em serviço em relação aos demais clones.

Assim sendo, a modificação térmica reduz a vida útil do verniz em uso, necessitando por isso de manutenções frequentes para garantir a estética dos mesmos em ambiente de serviço.

3.3. ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO

O desempenho do atrito entre a superfície de madeira acabada em contacto com outras superfícies permitiu a determinação dos limites para manter objetos parados ou em movimento sobre os pisos. Assim sendo, pode-se observar na TABELA 11 que o coeficiente de atrito estático e dinâmico não apresentam diferenças significativas entre os clones avaliados.

TABELA 11.ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO DAS MADEIRAS IN NATURA E MODIFICADA TERMICAMENTE DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO.

Propriedade	Trat.	Clones				F
		<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (SM)	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (PC)	<i>E. urophylla</i>	
Atrito Estático	NT	0,44 *(12,54)	0,44 *(15,75)	0,40 *(14,87)	0,44 *(12,88)	0,87ns
	T	0,33 *(19,19)	0,31 *(22,03)	0,30 *(17,30)	0,28 *(20,16)	
Atrito Dinâmico	NT	0,27 *(25,25)	0,37 *(26,35)	0,27 *(22,03)	0,37 *(31,92)	2,56ns
	T	0,32 *(25,51)	0,32 *(24,52)	0,33 *(28,89)	0,37 *(29,96)	

Não foi aplicado o teste de médias porque o F da interação não foi significativo a 95% de probabilidade. *Valor entre parênteses é o coeficiente de variação.

Em termos absolutos, a modificação térmica causou redução do atrito estático na madeira, apesar de se ter utilizado o mesmo padrão de acabamento superficial. Possivelmente pela aplicação do verniz, combinados com antiabrasivos, e pela suavização da madeira durante o processo de modificação térmica, ter causado maior porosidade desta, o que aumenta as possibilidades de maior absorção de verniz pelos espaços porosos.

Para esta variável, os resultados foram similares às observações de Marchesan (2016), em madeira de *H. dulcis* sem acabamento e Blanco-Florez et al. (2015), em madeira de *T. grandis*. No entanto, os valores obtidos, tanto para madeira *in natura*, assim como para madeira modificada termicamente dos quatros clones, foram superiores às observações de Martins et al. (2013), em madeira de *Eucalyptus* sp. sem acabamento superficial.

Em estudos realizados com pisos obtidos a partir de madeira nativa, Oliveira (2016), obteve baixos coeficientes de atrito estático em relação aos resultados desta pesquisa, possivelmente pelas diferenças observadas no processo de acabamento, bem como as diferenças nas densidades das

espécies, pois a autora utilizou madeiras nativas de maior massa específica, que apresentam por natureza superfície mais lisas em relação às madeiras de eucalipto, sendo este um possível fator de redução de atrito na madeira.

Já para o atrito dinâmico, a realização do tratamento térmico não causou alteração em termos absolutos da força que favorece ao deslizamento para o *E. urophylla*. Contrariamente, no clone *E. grandisxurophylla* de seleção massal e no clone *E. grandisxurophylla* de polinização controlada verificaram-se ligeiros aumentos em termos absolutos desta força, enquanto que no *E. grandis* houve redução não significativa da mesma, melhorando a possibilidade de circulação e movimento de pessoas após acabamento em madeira.

Esses resultados podem ser atribuídos às características físicas e anatômicas da madeira, combinadas com o processo de modificação térmica e as sequências de aplicação de verniz, servindo de fatores para melhorar ainda mais a circulação sobre os pisos, bem como redução das possibilidades para o desgaste dos suportes de móveis que estejam em contato com os pisos.

Em relação ao atrito dinâmico, os valores obtidos foram similares as observações de Blanco-Florez et al. (2015) para madeira de teca (*T. grandis*) submetida ao acabamento superficial com stain. No entanto, os resultados da presente pesquisa foram superiores em relação às observações de Marchesan (2016), em madeira de *H. dulcis* e Oliveira (2016), em madeiras de quatro espécies nativas do Brasil e Marins et al. (2012), em madeiras de eucalipto.

4. CONCLUSÕES

Após o acabamento das madeiras, o brilho apresentado pelos quatro clones foi semelhante tanto antes assim como depois da modificação térmica.

A aderência do verniz na superfície da madeira reduziu significativamente após a modificação térmica dos quatro clones de eucalipto.

Após 500 e 1000 ciclos de abrasão, os menores desgastes de verniz foram observados na madeira in natura com exceção do clone *E. urophylla* que não apresentou diferenças no desgaste de verniz.

A modificação térmica das madeiras causou redução do atrito estático e aumento do atrito dinâmico para os quatros clones avaliados.

Combinadas todas as características, a modificação térmica do *E. urophylla* resultou em melhores condições para uso em piso de ambientes de baixa circulação e exigências de maior estéticas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os resultados obtidos e as informações disponibilizadas sequencialmente nos capítulos da tese, pode-se afirmar que o processo de modificação térmica da madeira é promissor trazendo subsídios para o setor de industrialização da madeira como solução de vários problemas no processamento e beneficiamento destes produtos.

Apesar da ligeira perda de massa causada, a modificação térmica tornou a madeira menos higroscópica, deixando-a com menor capacidade de absorção de umidade do ambiente e melhor estabilidade dimensional causado degradação dos componentes químicos de alto peso molecular.

Após as operações de usinagem realizadas para beneficiamento da madeira, os perfis das superfícies apresentaram melhorias consideráveis no percentual de ondulações e quantidade de fibras arrancadas, pela suavidade apresentada pela madeira, o que é uma vantagem também para redução da proporção de desgaste da ferramenta, e conseqüentemente redução dos ciclos de interrupção das operações pela necessidade de troca de ferramenta.

A modificação térmica apresentou limitações para utilização de madeiras de baixa densidade na produção de pisos, sendo indicadas para ambientes de baixa intensidade de circulação, no entanto os processos são promissores para madeiras de elevada densidade, uma vez que, podem ser utilizados como alternativa a uso de produtos químicos em ambientes externos de menor tráfego.

Os limites para utilização da madeira modificada termicamente ficaram ainda maiores após resultados satisfatórios no seu aspecto, apresentando um brilho fosco e coloração mais homogênea, a semelhança do que se observa em madeiras de espécies nobres de alto valor comercial, dando indício que o processo realizado permite agregação de valor às madeiras de eucalipto, a ísemelhança do que já foi observado e aprofundado nas demais pesquisas com várias espécies de eucalipto.

6. RECOMENDAÇÕES

Efetuar análise de viabilidade econômica para disponibilidade da madeira de eucalipto com qualidade para viabilizar a modificação térmica em indústrias de pisos maciços de outros produtos de maior valor agregado.

Realizar ensaios de modificação térmica com diferentes tempos e temperaturas de exposição para qualidade da madeira de eucalipto.

Realização de análises anatômicas microscópicas para aferição das dimensões das fibras com vista a apurar a influência dos processos de modificações térmicas nas suas variações e nos parâmetros de usinagem da madeira.

Recomenda-se também a realização de ensaios de acabamento superficial para testar amostras submetidas a diferentes temperaturas e acabadas com diferentes tipos de produtos para avaliação de performance da madeira modificada termicamente.

Realização de pesquisas semelhantes com diferentes espécies de eucalipto e demais espécies de rápido crescimento como forma de agregar as informações disponíveis neste documento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKGUL, M.; KORKUT, S. The effect of heat treatment on some chemical properties and colour in Scots pine and Uludağ fir wood. **African Journal of Biotechnology**, v.7, n.21, p.2854-2859, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1105**. Standard test method for preparation of extractive in wood. EUA. 2007.2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1106-96**. Standard test method for acid insoluble lignina in wood. EUA. 2007. 1p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1666-87**. Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials, Philadelphia, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4060-10**. Standard test method for abrasion resistance of organic coatings by the taber abraser, Annual Standards, reaproved, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM – D 2394–05**. Standard test methods for simulation service of wood and wood-base finish flooring, *Annual Book of ASTM Standards*, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143-14**, Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West conshohocken, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de janeiro 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade, Rio de janeiro, 2002.

BATISTA, D.C.; TOMASELLI, I.; KLITZKE, R.J. Efeito do tempo e da temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.3, p.533-540, 2011.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro vap Holzsysteme**. 339f Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BATISTA, D.C.; SILVA, J.G. M.; CORTELETTI, R.B. Desempenho de uma serraria com base na eficiência e na amostragem do trabalho. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.2, p.271-280. 2013.

BARNETT, J.; JERONIMIDIS, G. **Wood quality and its biological basis**, EUA, Wiley-Blackwell, USA, Canadá, 2009, 240p

BAYSAL, E.; KART, S.; TOKER, H.; DEGIRMENTEPE, S. Some physical characteristics of thermally treated oriental beech wood. **Maderas Ciencia y Tecnologia** v.16, n.3, p.291-298. 2014

BIANCHE, J.J.; OLIVEIRA, B.S.; TEIXEIRA, A.P.M., LADEIRA, J.P.S.; COSTA, E.V.S.; CARNEIRO, A.C.O. Características físico-químicas dos adesivos e ph das madeiras de eucalipto e pinus para a colagem **in anais II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira Belo Horizonte**, 2015.

BILESKY, L. R. **Avaliação dos aspectos de processo no torneamento de madeiras tratadas termicamente**. 132f Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) UNESP, Guaratingueta, 2015.

BLANCO-FLÓREZ, J.; SILVA, J.R.M.; BRAGA, P.P.C.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p.1048-1060, 2015.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, v.11, n.61, p.82-86, 2001.

BOONSTRA, M.J.; TJEERDSMA, B.F. Chemical analysis of heat treated softwoods. **Holz als Roh -und Werkstoff**, v.64, n.3, p.204-211, 2006.

BOONSTRA, M.J.; RIJSDIJK, J.F.; SANDER, C.; KEGEL, E.; TJEERDSMA, B., MILITZ, H., VAN ACKER, J., STEVENS, M. Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.8, n.3, p.193-208, 2006.

BOONSTRA, M.J.; ACKER, J.; KEGEL, E.; STEVENS, E. Optimization of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology**, v.41, n.1, p.31-57p, 2007.

BORGES, L.M.; QUIRINO, W.F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, Rio de Janeiro, v.1, n.2, p.173-182, 2004.

BRAGA, P.P. DE C. **Qualidade na usinagem e no acabamento da madeira de Coffea arabica**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BRITO, J.O. **Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de Eucalyptus maculata e Eucalyptus citriodora sobre os resíduos sólidos da pirólise**. 81f. Tese (Livre Docência) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1993.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; JÚNIOR, G.B.; PESSOA, A.M.C; SILVA, P.H.M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de modificação térmica. **Cerne**, v.12, n.2, p.181-188, 2006.

BRITO, J.O.; SILVA, F.G.; LEÃO, M.M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in Eucalyptus and Pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v.99, n.18, p.8545-8548, 2008.

ČABALOVÁ, I.; KAČÍK, F.; LAGAÑA, R.; VÝBOHOVÁ, E.; BUBENÍKOVÁ, T.; ČAŇOVÁ, I.; ĎURKOVÍČ, J. Effect of thermal treatment on the chemical, physical, and mechanical properties of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood. **Bioresources**, v.13, n.1, p.157-170, 2018.

CADEMARTORI, P.H.G.; SCHNEID, E.; GATTO, D.A.; BELTRAME R.; STARGELIN, D.M. Modification of static bending strength properties of *Eucalyptus grandis* heat-treated wood. **Material Research**, v.15, n.6, p.922-927, 2012.

CADEMARTORI, P.H.G.; SCHNEID, E.; GATTO, D.A.; STARGELIN, D.M.; BELTRAME R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.15, n.1, p.57-64, 2013.

CADEMARTORI, P.H.G.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; MASTELLA, T.; VARGAS, J.F.; SANTINI, E.J. Uso de herbicida na redução das tensões de crescimento na madeira serrada de *Eucalyptus grandis*, **Ci. Fl.**, v.25, n.3, 2015a.

CADEMARTORI, P.H.G.; MISSIO, A.L.; MATTOS, B.D.; GATTO, D.A. Effect of thermal treatments on technological properties of Wood from two *Eucalyptus* species **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.87, n.1, p.471-481, 2015b.

CADEMARTORI, P.H.G. **Modificação da superfície de madeira e de produtos à base de madeira por plasma frio**. 147f, Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017

CALONEGO, F.W. **Efeito da termorreificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Botucatu, 2009.

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.; LATORRACA, J.V. Effect of thermal modification on the physical properties of juvenile and mature woods of *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.1, pp.108-113, 2014.

CANDELIER, K.; DUMARÇAY, S.; PÉTRISSANS, A.; DESHARNAIS, L.; GÉRARDIN, P.; PÉTRISSANS, M. Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres:

nitrogen or vacuum. **Polymer Degradation and Stability**, v.98, n.2, p.677-681. 2013.

COELHO, M.U.; DEL MENEZZI, C.; SOUZA, M.R. Abrasion resistance of pinus Wood subjected to thermomechanical treatments. **Proligno**, v.13, n.4, p.94-100, 2017.

COOL, J.; HERNÁNDEZ, R.E. Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion. **Forests Products Journal**, v.61, n.5, p.372-380, 2011.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **Colorimetry**. 2nd ed. Vienna, 1976.

CUNHA, A.B; FRANÇA M.C.; ALMEIDA, C.C.F; GORSKI, L.; CRUZ, R.C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta**, v.45, n.2, p.241-250, 2015.

ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; KORKUT, D.S. Varnish layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as effected by heat treatment. **Bioresources**, v.6, n.2, p.1648-1658. 2011a.

ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; KORKUT, D.S.; KURTOGLU, A.; ERDINLER, S.; ULAY, G. The effects of protective dye layer applied on varnish layer hardness, scratch resistance and glossiness of various blockboard types. **African Journal of Agricultural Research**, v.6, n.10, p.2303-2308, 2011b.

DEL MENEZZI, C.H.S.; TOMASELLI, I. Contact thermal post-treatment of oriented strandboard to improve dimensional stability: A preliminary study. **Holz Roh- Und Werkstoff**, v.64, n.3, p.212–217. 2006.

DILIK, T.; KOÇ, K.H.; HAZIR, E.; ERDINLER, E.S. Surface treatment, layer hickness and surface performance relations of wood materials. In **Anais: Proceedings of the 57th international convention of society of wood science and technology**. June 23-27, 2014. Zvolen, Eslováquia: 2014.

DIAS JÚNIOR, A.F.; LANA, A.Q.; SANTOS, P.V. DOS; CARVALHO, A.M. DE; SOUZA, N.D. DE; BRITO, J.O. Propriedades físicas e acabamento superficial da madeira de eucalipto termicamente tratada. **Ciência Agrária**, v.58, n.3, p.270-276, 2015.

DIAS, O.A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p.3632, 2013.

DOYLE, J.; WALKER, J.C.F. Indentation hardness of wood. **Wood Fiber Science** v.17, n.3, p.369–376, 1984.

DUBEY, K.M; PANG, S.; WALKER, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. wood with oil heat-treatment. **Holzforschung**, v.66, n.1, p49-57, 2012.

EFE, H.; GÜRLEYEN, L.; BUDAKÇI, M. Effect of the cutting direction and number of knives on surface smoothness and bonding strength for Acacia. **Journal of Forestry Faculty**, Kastamonu University, v.7, n.1, p.13-23, 2007.

ESTEVEES, B.M.; DOMINGOS, I.J.; PEREIRA, H.M. Pine wood modification by heat treatment in air. **Bioresources**, v.3, n.1, p.142-154. 2008.

ESTEVEES, B.M. Utilização e comercialização de madeira modificada in Lourenço, P.B. Branco J.M. e Sousa H.S. **Seminário Intervir em construções existentes de madeira. Universidade do Minho, Guimaraes, Portugal**, p.37-46, 2014

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1983, 626p.

FERREIRA, D.H.A.A.; LELES, P.S.S.; MACHADO, E.C.; ABREU, A.H.M.; ABILIO, F.M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, v.44, n.3, p. 431 - 440, 2014.

FIGUEROA, M.J.M.; MORAES, P.D. Comportamento da Madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.9, n.4, p.157-174, 2009.

FILHO, P.L.P. **Reconhecimento de espécies florestais através de imagens macroscópicas**. 116f. Tese (Doutorado em Informática). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FONTE, A.P.N. **Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial**. 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

GARCIA, R.A.; CARVALHO, A.M.; LATORRACA, J.V.F.; MATOS, J.L.M.; SANTOS, W.A.; SILVA, R.F.M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood using stress wave method. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, n.1-3, p.41-52, 2011.

GONG, M.; LAMASON, C.; LI, L. Interactive effect of surface densification and post-heattreatment on aspen wood. **Journal of Materials Processing Technology**, v.210, n.2, p.293-296. 2010.

GONÇALVES, M.T.T. **Proposta de metodologia para medição dos esforços de corte na usinagem da madeira**. 249p. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1993.

GOMIDE, J.L.; NETO, H.F.; REGAZZI, A.J.; Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Árvore**, v.34, n.2, p.339-344, 2010

GOSSELINK, R.; KROSSE, A.; VAN DER PUTTEN, J.; VAN DER KOLK, J.; KLERKENGELS, B.; DAM, J.: Wood preservation by low-temperature carbonisation. **Industrial Crops and Products**, v.19, p.3–12, 2004.

GOUVEIA, F.N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 130f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GUNDUZ, G.; AYDEMIR, D. Some physical properties of heat-treated Hornbeam (*Carpinus betulus*) Wood. **Drying Technology**, v.27, n.5, p.714-720, 2009.

HAKKOU, M.; PE´TRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GERARDIN, P. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, n.1, p.1-5, 2005.

HANGER, J.; HUBER, H.; LACKNER R.; WIMMER R. Physikalische Eigenschaften heimischer Holzarten nach Wärmebehandlung. **Holzforschung und Holzverwertung**, v. 55: p.111-113, 2002.

HARDWOOD REVIEW. Market opportunity: heat-treated hardwoods, european technology has chance to grow. **Review Express**, v. 8, n.15, 2009

HENZ, G.P.; CARDOSO, F.B. Absorção de água e proliferação de fungos em madeira de *Pinus* usada como embalagem para hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.138-142, 2005.

HERUJARVI, H. Variation of basic density and brinell hardness within mature finnish *Betula pendula* and *B. Pubescens* stems. **Wood and Fiber science**, v.36, n.2, p.216-227, 2004.

HIETALA, S.; MAUNU, S.L.; SUNDHOLM, F.; JÄMSA, S.; VIITANIEMI, P. Structure of thermally modified Wood studied by liquid state NMR measurements. **Holzforschung**, v.56, n.5, p.522-528, 2002.

HILL, C.A.S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2006, 260p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES **Relatório Ibá** 2017

JAKUB, S.; MARTINO, N. **Wood surface roughnesswhat is it?** Retrieved from http://www.boku.ac.at/physic/coste35/Rosenheim/article/art_Sandak_COS_T_E35_Rosenheim_2005.

JUIZO, C.G.F.; LIMA, M.R.; SILVA, D.A. Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal. **Agrária**, v.12, n.3, p.386-390, 2017.

JUIZO, C.G.F.; ZEN, L.R.; KLITZKE, W.; FRANÇA, M.C.; CREMONEZ, V.G.; KLITZKE, R.J. Propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto submetida ao tratamento térmico. **Nativa**, v.6, n.5, p.537-542, 2018.

KAMDEM, D.P.; PIZZI, A.; Jermannaud, A. Durability of heat-treated wood. **Holz Als Roh-Und Werkstoff**, v. 60, n.1, p.1-6, 2002.

KESIK, H.S.; KORKUT, S.; HIZIROGLU, S.; SEVIK, H. An evaluation of properties of four heat treated wood species. **Industrial Crops and Products**, v.60, p.60-65, 2014.

KHOURY JUNIOR, J.K.; PINTO, F.A.C.; SANTOS, N.T.; DELLA LÚCIA, R.M.; MAEDA, E.E. Análise discriminante paramétrica para reconhecimento de defeitos em tábuas de eucalipto utilizando imagens digitais. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.299-309, 2005.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of Wood. **Building and Environment**, v.41, p.1074–1078, 2006.

KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; BOLUK, Y. Effect of thermal treatment on the mechanical composition and mechanical properties of Birch and Aspen. **Bioresources Technology**, v.3, n.2 p.517-537, 2008.

KOL, H.Ş.; SEFIL, Y.; KESKIN, S.A. Effects of Heat Treatment on Abrasion Properties of Fir and Beech Wood. **ICENS International Conference on Engineering and Natural Science**, p.15-19, 2015.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JUNIOR, W.A. **Principles of wood Science and Technology**. New York, Springer, 1968. V1. 592 p. (Solid Wood).

KORKUT, D.S.; KORKUT, S.; BEKAR, I.; BUDAKÇI, M.; DILIK, T.; ÇAKICIER, N. The effects of heat treatment on the physical properties and surface roughness of Turkish hazel (*Corylus colurna* L.). **International Journal of Molecular Science**, v.9, n.9, p.1772-1783. 2008.

KORKUT, S.; KOCAEFE, D. "Effect of heat treatment on wood properties," *Duzce. University Journal of Forestry*. v.5, n.2, p.11-34, 2009.

KORKUT, S.; SEVİM KORKUT, D.; KOCAEFE, D.; ELUSTONDO, D.; BAJRAKTARI, A.; ÇAKICIER, N. Effect of thermal modification on the properties of narrow-leaved ash and chestnut. **Industrial Crops and Products**, v.35, n.1, p.287-294, 2012.

KORKUT, D.S.; HIZIROGLU, S.; AYTIN A.; Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry Wood, **Bioresources** v.8, n.2, p.1582-1590, 2013.

KORTILAINEN, R. **Chemical changes in Wood during heating at 150–260°C**. PhD Thesis, Jyväskylä University. Research report 80, Finland. 2000.

KIM, U.J.; EOM, S.H.; WADA, M. Thermal decomposition of native cellulose: influence on crystallite size. **Polymer Degradation and Stability**, v.95, n.5 p.778–781. 2010.

KVIETKOVÁ, M.; GAŠPARÍK, M.; GAFF, M. Effect of thermal treatment on surface quality of beech Wood after plane milling, **Bioresources** v.3, n.10, p.4226-4238, 2015.

LEITE, M. K. Caracterização tecnológica da madeira de *Corymbia maculata*, *Eucalyptus cloeziana* e *E. resinífera* para aplicação no design de produtos de maior valor agregado. 136f. Tese (Doutorado em ciências florestais) Universidade de São Paulo, Piraciaba, 2014.

LELIS, R.C.C. **Zur Bedeutung der Kerninhaltsstoffe obligatorisch verkernter Nadelbaumarten bei der Herstellung Von feuchtebeständigen und biologisch resistenten Holzspanplatten, Am Beispiel der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco)**. 175f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Forstliche Fakultät, Universität Göttingen. 1995.

LEMASTER, R.L.; TAYLOR, J.B. High speed surface assessment of wood and wood-based composites **In: 14th international wood machining seminar**. Septembr 12-19, Published by the Forest products society, 1999.

LOURENÇO, P.B.; BRANCO, J.M.; SOUSA, H.S. **Intervir em construções existentes de madeira**. Livro de Atas Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2014, 149p.

LUCAS FILHO, F.C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 176 f. Tese (Doutorado em Gestão do Design e do Produto) - Setor de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LUCAS FILHO, F.C.; BOEHS, L. Usinagem da madeira na indústria de móveis, **Revista da Madeira**, n. 108, 2007.

MACHADO, A.R.; ABRÃO, A.M.; SILVA, M.B, COELHO, RT. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher; 2011. 297p.

MALAN, F.S. The reduction of high levels of growth stress in *Eucalyptus grandis* - 15 tree breeding our only solution. **Wood Southern Africa**, v.12, n.10, p.19-20, 1988.

MARCHESAN, R.; LOIOLA, P.L.; TECCHIO, M.M.; JUIZO, C.G.F.; ROCHA, M.P.; KLITZKE, R.J. Avaliação das técnicas de anelamento e inserção de sabre em árvores de *Eucalyptus grandis* visando maior qualidade da madeira serrada. **Floresta**. v.45, n.4, p.695-704, 2015.

MARCHESAN, R. **Caracterização tecnológica da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg para a fabricação de pisos.** 92f Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MARTINS, M. **Ensaio de simulação de uso em pisos de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Corymbia maculata* Hook.** 48f Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARTINS, M.; SILVA, J.R.M. LIMA, J.T. GONÇALVES, M.T.T. Filipe, A.P. Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus* sp e *Corymbia maculata*. **Cerne**, v.19, n.1, p.151-156, 2013.

MBURU, F.; DUMARCAY, S.; BOCQUET, J.F.; PETRISSANS, M.; GERARDIN, P. Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* Wood. **Polymer Degradation and Stability**, v.93, n.2, p.401-405. 2008.

MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W.; FERREIRA, C.A.; BRASIL, U.M. Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**. n.13, p.143-162, 1976.

MIKLEČIĆ, J.; JIROUŠ-RAJKOVIĆ, V. Accelerated weathering of coated and uncoated beech wood modified with citric acid, **Drvna Industrija** v.62, n.4, p.277-282. 2011.

MISSIO, A.L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *eucalyptus* submetida a tratamentos de congelamento e termorreificação.** 152f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MODES, K.S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.** 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MODES, K.S.; SANTINI, E.J.; VIVIAN, M.A.; GARLET, A. Influência da modificação térmica na resistência a degradação biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.27, n.3, p.993-1002, 2017.

MOON, J.; LIU, Z.L. Engineered NADH-dependent GRE2 from *Saccharomyces cerevisiae* by directed enzyme evolution enhances HMF reduction using additional cofactor NADPH. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 50, n.2 p. 115-120, 2012.

MOSSMANN, V.L.F.; CATELLI, K.B.M.F.; LIBARDI, H.; DAMO, I.S. Determinação dos Coeficientes de Atrito Estático e Cinético Utilizando-se a

Aquisição Automática de Dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.24, n. 2, p.146-149, 2002

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa*. Parte I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Árvore**, v.29, n.3, p.145-155, 2005.

MORAIS, P.H.D.; JÚNIOR, D.L.; COLODETTE, J.L.; MORAIS, E.H.C.; JARDIM, C.M. Influence of clone harvesting age of *Eucalyptus grandis* and hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* in the wood chemical composition and in kraft pulpability, **Ciencia Florestal**, v.27, n.1, p.237-248, 2017.

MOURA, L.F.; BRITO, J.O.; SILVA JÚNIOR, F.G. Effect of thermal treatment on the chemical characteristics of wood from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden under different atmospheric conditions. **Cerne**, v.18, n.3, p.449-45, 2012.

MUÑIZ, G.I.B.; CORADIN, V.R. **Normas de procedimentos em estudo de anatomia da Madeira. I – Angiospermae, II- Gimnospermae**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 1991. (Série Técnica 15)

NÉRI, A.C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R.E. Forças de corte ortogonal 90-90 em três espécies de madeira de eucalipto do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.275-280, 2000.

NIEMZ, P.; STUBI, T. Investigations of hardness measurements on wood based materials using a new universal measurement system. In: **Proceedings of the symposium on Wood machining, properties of wood and wood composites related to wood machining**, Vienna, Austria, p.51–61, 2000.

NUNES, C.S.; NASCIMENTO, A.M.; GARCIA, R.A.; LELIS, R.C.C. Qualidade de adesão das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* tratadas termicamente. **Scientia Forestalis**, v.44, n.109, p.41-56, 2016.

NUOPPONEN, M.; WIKBERG, H.; VUORINEN, T.; MAUNU, S.L.; JAEMSAE, S.; VIITANIEMI, P. Heat-treated softwood exposed to weathering. **Journal Of Applied Polymer Science**, v.91, n.4, p.2128-2134, 2006.

OLIVEIRA ARAÚJO, S.; VITAL, B.R.; OLIVEIRA, B.; CARNEIRO, A.C.O.; LOURENÇO A.; PEREIRA, H. Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosa scabrella*, **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v.18, n.1, p.143-156, 2016.

OLIVEIRA, M.B. **Avaliação da qualidade de pisos comerciais confeccionados com madeiras de *Bowdichia nitida* Benth (Spr.), *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd, *Mimosa scabrella* Benth e *Tabebuia impetiginosa*. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.**

OLEK, W.; BONARSKI, J.T. Texture changes in thermally modified wood. **Archives of Metallurgy and Materials**, v.53, n1. P.207-2011, 2008.

ÖZALP M.; GEZER I.; KORKUT S. The investigation of heat treatment with water-based varnish double components in varnish applications of wood material. **African Journal of Biotechnology**, v.8, n.8, p.1689-1694, 2009.

OZDEMIR, T.; HIZIROGLU, S. Evaluation of surface quality and adhesion strength of treated solid Wood. **Journal of Material Processing Technology**, v.186, n.1-3, p.11-314, 2007.

OZGENC, O.; HIZIROGLU, S.; YILDIZ, U.C. Weathering properties of wood species treated with different coating applications. **BioResources**, v.7, n.4, p.4875-4888, 2012.

ÖZGENÇ, Ö.; DURMAZ, S.; BOYACI, I.H.; EKSI-KOCAK, H. Determination of chemical changes in heat-treated wood using ATR-FTIR and FT Raman spectrometry. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v.171, p.395–400, 2017.

PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus* sp para utilização em pisos**. 71f. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavra, Lavras, 2005.

PADILHA, C.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M.; TRUGILHO, P.F.; ANDRADE, H.B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**. n.71, p.141-147, 2006.

PALERMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; MOURA, L.F.; NOLASCO, A.M.; CARVALHO, A.M.; GARCIA, R.A. Surface roughness of heat treated *Eucalyptus grandis* wood. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v.16, n.1, p.66-73, 2014.

PALERMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; CARVALHO, A.M.; GARCIA, R.A. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden tratada termicamente, **Ci. Fl.** 25, n.1, 2015.

PANSHIN, A. I.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1980, 722p.

PEDRO, F.S.; JUÍZO, C.G.F.; ROCHA, M.P.; BILA, N.F.; UETIMANE JUNIOR, E. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.4, p.543 –550, 2014.

PELIT, H.; BUDAKCI, M.; SO˘NMEZ, A.; BURDURLU, E. Surface roughness and brightness of scots pine (*Pinus sylvestris*) applied with water-based varnish after densification and heat treatment. **Journal of Wood Science** v.61, p.586–594. 2015.

PESSOA, A.M.C.; BERTI FILHO, E.; BRITO, J.O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**. n.72, p.11-16, 2006.

PEREIRA dos ANJOS, F. **Efeito da modificação térmica nas propriedades físicas de três espécies madeireiras da Amazônia**. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

PERTUZZATTI, A.; CONTE, B.; MISSIO, A.L.; SOARES, A.K.; GUMA, R.L.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) termorretrificada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.1, p.140-146, 2015.

PINCELLI, A.L.P.S.M.; BRITO, J.O.; CORRENTE, J.E. Avaliação da modificação térmica sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cientia Florestalis**, n.61, p.122-132, 2002.

PINCELLI, A.L.P.S.M.; MOURA, L.F.; BRITO, J.O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* Woods. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.14, n.2, p.239-248, 2012.

PONCSAK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**, v.40, n.8. p.647–663, 2006.

POUBEL, D.S.; GARCIA, R.G.; SANTOS, W.A.; OLIVEIRA, G.L.; ABREU, H.A. Efeito da modificação térmica nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, v.19, n.3, p.391-398, 2013.

RAPP, A.O.; SAILER, M. Oil Heat treatment of wood in Germany - state of the art: In: **Review on heat treatments of wood. COST Action E22, Environmental optimisation of wood protection**. Proceedings of the special seminar held in Antibes, Forestry and Forestry Products, France, on 9 February 2001.

RAUTKARI, L.; KAMKE, F.; HUGHES, M. Density profile relation to hardness of viscoelastic thermal compressed (VTC) wood composite. **Wood Sci Technol**. v.45, n.4, p.693–705, 2010

REMADE MADEIRAS, **Madeiras de Eucalipto na construção civil**, disponível em http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php? Edição nº 59, setembro de 2001. Acesso em 10 de setembro de 2015.

RICHTER, K.; FEIST, W.C.; KNAEBE M.T. The effect of surface-roughness on the performance of finishes. Part1. Roughness characterization and stain performance. **Forest Products Journal**, v.45, n.7–8, p.91–97, 1995.

ROCHA, M.P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, v.8, n.2, p.070-083, 2002.

ROCHA, M.P.; TRUGILHO, P.F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, v.12, n.4, p.314-321, 2006.

ROFFAEL, E.; SCHALLER, K. The influence of thermal treatment on cellulose. **Holz als Roh- und Werkstoff**. v.29, n.7, p.275–278, 1971.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by a thermal treatment at high temperature. **European Journal of Wood and Wood Products** v.62 n.2, p.113-119. 2004.

ŞAHİN, H.T.; KORKUT, S. Surface colour changes of turkish hazelnut wood caused by heat treatment. **Journal of Advances in Biology & Biotechnology**, v.6, n.1, p.1-7. 2016.

SANTOS, I.S.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M. “Avaliação dos pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus* sp. com pequenos diâmetros. **Cerne**, v.16, n.4, p. 473-478, 2010.

SANTOS, P.V.; DIAS JÚNIOR, A.F.; AVELINO, E. F.; CARVALHO, A.M. Avaliação do Efeito da Modificação térmica na Usinagem da Madeira de *Eucalyptus grandis* HILL EX. maiden. In: **V Congresso Forestal Latinoamericano**, 2011, Lima. Anais do V Conflat. Lima, 2011.

SANTOS, D.V.B.; MOURA, L.F.; BRITO, J.O. Effect of heat treatment on color, weight loss, specific gravity and equilibrium moisture content of two low market valued tropical woods. **Wood research**, v.59 n.2, p.253-264, 2014.

SANTOS, P.V.; SILVA, M.A.; DIAS JÚNIOR, A.F.; CARVALHO, A.M.; NASCIMENTO, A.M. Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) submetida ao processo de modificação térmica. **Scientia Forestalis**, v.44, n.110, p.343-350, 2016.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, L.J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.65, p.120-129, 2004.

SCHNEID, E.; CADEMARTORI, P.H.G.; GATTO, D. The effect of thermal treatment on physical and mechanical properties of *Luehea divaricata* hardwood. **Maderas. Ciencia y tecnologia**. v.16, n.4, p.413-422, 2014.

SILVA, J.R.M.; MENDES, L.M.; M. KUMMER-WENZEL; TRUGILHO, P.F. Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne**, v.3, n.1, p.170-186, 1997.

SILVA, J.R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *eucalyptus grandis* hill ex. Maiden.** 204f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, 2002.

SILVA, M.R.; BRITO, J.O.; GOVONE, J.S.; MACHADO, G.O.; JUNIOR, C.C.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A.R. Chemical and mechanical properties changes in *Corymbia citriodora* wood submitted to heat treatment. **International Journal of Materials Engineering**, v.5, n.4, p.98-104. 2015.

SOLER, L.S. **Propriedades de pisos maciços de teca e Bracatinga.** 43f (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014.

SOUZA, M.O.A.; SILVA, J.C.; DELLA LUCIA, R.M.; EVANGELISTA, W.V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.751-758, 2009.

SOUZA, M.O.A.; SILVA, J.C.; EVANGELISTA, W.V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake visando o uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 403-409, dez. 2011.

SOUZA JÚNIOR, C.L. Comparisons of intra-interpopulation and modified recurrent selection methods. **Revista Brasileira de Genética**, v.16, n.1, p. 91-105, 1993.

STANDFEST G.; ZIMMER B. The surface hardness of thermally treated Woods. In: **62nd International Convention of the Forest Products Society**, 22–24 June, St. Louis, USA, 2008.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in Wood during heating.** 50f (Doctoral Thesis) Luleå University of Technology, Lulea, 2004.

SURINI, T.; CHARRIER, F.; MALVESTIO, J.; CHARRIER, B.; MOUBARIK, A.; CASTÉRA, P., GRELIER, S. Physical properties and termite durability of maritime pine *Pinus pinaster* Ait heat-treated under vacuum pressure. **Wood Science and Technology**. v.46, n.3, p.487-501, 2012.

TAPPI. **Solvent extractives of wood and pulp** - TAPPI T 204 cm-97. In: (Ed.). Technical Association of the Pulp and Paper Industry Atlanta, USA, 1997.

_____. **Acid-insoluble lignina in wood and pulp** - TAPPI 222 om-98. In: (Ed.). Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Test Methods 2000-2001. Atlanta, USA, 1998.

TAYLOR, F.W. Variation in the anatomical properties of south african grown *Eucalyptus grandis*. **Appita**, v.27, n.3, p.171-184, 1973.

TJEERDSMA, B.F.; MILITZ, H. Chemical changes in hydrothermal treated Wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated Wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.63, n.2, p.102- 111, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 262f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood**, Nova Iorque, Van Nostrand Reinhold, 1991, 491p.

TU, D.; LIAO, L.; YUN, H.; ZHOU, Q.; CAO, X.; HUANG, J. Effects of heat Treatment on the machining properties of *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis*. **Bioresources**, v.9, n.2, p.2847-2855, 2014.

TURKOGLU, T.; BAYSAL, E.; TOKER, H. The effects of natural weathering on color stability of impregnated and varnished wood materials. **Advances in Materials Science and Engineering**, ID 526570, p.1-9, 2015.

TURKOGLU, T., KABASAKAL, Y., BAYSAL, E., GUNDUZ, A., KUCUKTUVEK, M., BAYRAKTAR, D.K., TOKER, H., PEKER, H. Surface characteristics of heated and varnished oriental beech after accelerated weathering. **Wood Research**, v.62, n.6, p.961-972. 2017.

ULKER, O. Surface roughness of composite panels as a quality control tool. **Materials**, v.11, n.407, p.1-10, 2018.

UNSAL, O.; CANDAN, Z.; KORKUT, S. Wettability and roughness characteristics of modified wood boards using a hot-press. **Industrial Crops and Products**, v.34 p:1455–1457, 2011.

WATAI, L.T. **Tecnologia básica em acabamento de madeiras**, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, 103 p.

WEBB, C.D. Variation of interlocked grain in Sweetgum. **Forest Products Journal**, v.19, n.8, 1969.

WEILAND, J.J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz als Roh - und Werkstoff**, v.61, p.216-220, 2003

WELZBACHER, C.R.; WEHSENER, J.; RAPP, A.O.; HALLER, P. “Thermo mechanical densification combined with thermal modification of Norway spruce (*Picea abies* Karst) in industrial scale - Dimensional stability and durability aspects. **Holz als Roh -und Werkstoff**, v.66, n.1, p.39-49, 2008.

WELZBACHER, C.R.; RASSAM, G.; TALAEI, A.; BRISCHKE, C. Microstructure, strength and structural integrity of heat-treated beech and

spruce Wood. **Wood Material Science and Engineering**, v.6, n.4, p.219-227, 2011.

WINDEISEN, E.; STROBEL, C.; WEGENER, G. Chemical changes during the production of thermotreated beech wood. **Wood Science and Technology**, v.41, n.6, p.523-536, 2007.

YALINKILIC, M.K., ILHAN, R., IMAMURA, Y., TAKAHASHI, M., DEMIRCI, Z., YALINKILIC, A.C., PEKER, H., Weathering durability of CCB-impregnated wood for clear varnish coatings. **Journal of Wood Science**, v.45, p.502-514. 1999.

YANG, Y., QIU, J., DONG, C.L., HUANG, H. Microstructures of heat-treated Pinus kesiya wood, **Journal of Northwest Forestry University**, v.25, n.4, p.181-185, 2010.

YILDIZ, S.; GEZER, E.D.; YILDIZ, U.C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, v.41, n.1, p.1762–1766, 2006.

YILDIZ, S.; TOMAK, E.D.; YILDIZ, C.; USTAOMER, D. Effect of artificial weathering on the properties of heat treated Wood. **Polymer Degradation and Stability**, n.98, v.8, p.1419-1427, 2013.

ZANUNCIO, A.J.V.; NOBRE, J.R.C.; MOTTA, J.P.; TRUGILHO, P.F.; Química e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden termorretificada. **Árvore**, v.38, n.4, p.765-770, 2014.